

Bezdrôtový prenos dát pomocou systému Arduino.

Wireless Data Transmission Using the Arduino System

Dávid Krivánek

Bakalárska práca

Vedúci práce : Ing. Václav Sládeček, Ph.D.

Ostrava, 2021

Abstrakt

Bakalárska práca sa venuje prenosu dát pomocou systému Arduino v pásme ISM. Súčasťou práce je teoretický rozbor rádiového prenosu, vysvetlenie základov práce s mikrokontrolérmi Arduino a ich programovaníu, porovnanie dostupných modulov pre uskutočnenie prenosu dát v pásmach 433 MHz a 2,4 GHz, potvrdenie katalógových hodnôt dosahu vybraných modulov a použitie jedného z modulov pre vytvorenie diaľkového ovládania jednoduchej stavebnice. V práci sú bližšie vysvetlené pojmy ako ASK a GFSK modulácia, Shockburst protokol a automatické spracovanie packetov. Ďalej sú uvedené výsledky meraní dosahu a výsledky diaľkového ovládania.

Kľúčové slova

Vysokofrekvenčný prenos dát , Ultra krátke vlny, ISM, Arduino, Programovanie, Meranie dosahu, Diaľkové ovládanie, Arduino moduly

Abstract

This Bachelor thesis deals with data transmission using the Arduino system in the ISM band. The thesis consists of a theoretical analysis of radio transmission, explanation of the basics of working with Arduino microcontrollers and their programming, comparison of available modules for data transmission in 433 MHz and 2,4 GHz bands, confirmation of specific range values of selected modules and the use of one of the modules for creating a simple remote controlled car. Thesis also explains ,in detail ,terms such as ASK and GFSK modulation, Shockburst protokol and automatic packet processing. The thesis ends with the results achieved in the range measurement of the modules and the conclusion of the remote controlled car.

Keywords

High frequency data transmission, Ultra short waves, ISM, Arduino, Programming, Range measurement, Remote control, Arduino modules

Zoznam použitých skratiek a symbolov

A – Efektívna plocha antény	LBT – Listen before talk
ACK – Acknowledgment	LED – Light emitting diode
AFA – Adaptive frequency agility	LNA – Low-noise amplifier
AM – Address match	m – Meter
ASK – Amplitude shift keying	Mb/s, Kb/s – Megabit, Kilobit za sekundu
BASK – Binary amplitude shift keying	MISO – Master in – Slave out
C – Rýchlosť svetla vo vákuu	MOSI – Master out – Slave in
CD – Carrier Detect	n – Index lomu
CE – Chip enable	OOK – On-off keying
CLK – Clock	p – Smer vlnenia
CRC – Cyclic redundancy check	PA – Power Amplifier
CSN – Chip select pin	PC – Personal computer
dB – Decibel	PCF – Packet control field
dBm – Decibel-miliwat	PLL – Phase lock loop
DR – Data Ready	PWR – Power Up chip
E – Elektrická zložka vlnenia	R_a – Reálna zložka impedancie
E_f – Energia fotónu	RC – Radio control
EKV – Extrémne krátke vlny	RX – Reciever
ESP – Enhanced Shockburst protokol	SAW – Surface Acoustic Wave
eV – elektronVolt	SCK – Serial clock
E_y – Horizontálna zložka elmag. vlnenia	SPI – Serial Peripheral Interface
E_z – Vertikálna zložka elmag. vlnenia	SRD – Short range device
f – Frekvencia	TX – Transmitter
F – Smerovosť antény	UHF – Ultra High Frequency
F_{n0} – Nosná frekvencia 0	USB – Universal Serial bus
F_{n1} – Nosná frekvencia 1	V – Volt
G – Zisk	VCC – Pin napájania
GFSK – Gaussian frequency shift keying	V_f – Rýchlosť šírenia svetla v látke
GND – Pin zeme	VKV – Veľmi krátke vlny
GPS – Global positioning system	Z – Vstupná impedancia
H – Magnetická zložka vlnenia	η – Účinnosť antény
h – Planckova konštanta	λ – Vlnová dĺžka
Hz – Hertz	μ – Permeabilita okolia
ICSP – In-circuit serial programming	μs – Mikrosekundy
IDE – Integrated development environment	ϵ – Permitivita okolia
IRQ – Interrupt pin	ϵ_r – Dielektrická konštanta
ISM – Industrial Scientific Medical pásmo	
jX_a – Imaginárna zložka impedancie	
Km – Kilometer	

Zoznam použitých ilustrácií

Obr. 1 Zložky elektromagnetického vlnenia E,H a p.	10
Obr. 2 Grafické zobrazenie elektromagnetického spektra.....	11
Obr. 3 Znázornenie spôsobov šírenia elektromagnetických vln v okolí Zeme.	13
Obr. 4 Odrazu elektromagnetického vlnenia.	14
Obr. 5 Šírenie ohybom.	14
Obr. 6 Lom pri prechode z prostredia s dielektrickou konštantou ϵ_1 do prostredia s ϵ_2	15
Obr. 7 Polarizácia elektromagnetického vlnenia.....	15
Obr. 8 Rozdelenie rádiových vln podľa spôsobu šírenia.	16
Obr. 9 Zobrazenie ionosferických vrstiev a lomu vln rôznych vlnových dĺžok.	16
Obr. 10 Rôzne zakrivenie dráhy vlnenia v troposfére.	17
Obr. 11 Šírenie prízemných vln.	17
Obr. 12 Princíp antény.	18
Obr. 13 Vyžarovací diagram antény.	18
Obr. 14 Bloková schéma vysielача s FM moduláciou.	19
Obr. 15 Bloková schéma prijímača.....	19
Obr. 16 Vysielач FS1000A (vľavo) a prijímač XY-MK-5V (vpravo).....	19
Obr. 17 ASK modulácia.	20
Obr. 18 Viacúrovňová ASK modulácia s pridelenými kombináciami 1 a 0.	21
Obr. 19 FSK modulácia.	21
Obr. 20 Zobrazenie šírky pásma kanálov WLAN a ich prekrývania.	24
Obr. 21 Rôzne typy Arduino dosiek.....	25
Obr. 22 Príklad programu v Arduino IDE.....	26
Obr. 23 Doska Arduino UNO R3 s vyznačenými pinmy.	27
Obr. 24 ESP8266 WI-Fi modul s integrovanou anténou.....	28
Obr. 25 Bloková schéma modulu nRF24L01+.....	29
Obr. 26 Bezdrôtový modul nRF24L01+	30
Obr. 27 Bezdrôtový modul nRF24L01+PA/LNA.	30
Obr. 28 Bloková schéma PA/LNA.	30
Obr. 29 Komunikácia modulov v rôznych kanáloch.	31
Obr. 30 Rozloženie packetu Enhanced ShockBurst.....	31
Obr. 31 Pinout modulu nRF24L01+PA/LNA.....	32
Obr. 32 Bloková schéma nRF905.	34
Obr. 33 Modul nRF905.	35
Obr. 34 ShockBurst Protokol packet.	35
Obr. 35 Pinout modulu nRF905.....	36
Obr. 36 Zapojenie s deličom napätia (vľavo) a s zenerovou diódou (vpravo).....	37
Obr. 37 Schéma zapojenia FS1000A.....	38
Obr. 38 Modul FS1000A (vľavo) a modul MX-RM-5V (vpravo).	38
Obr. 39 Bloková schéma modulu XM-RM-5V.....	39
Obr. 40 Rozloženie packetu Radiohead – ASK.	39
Obr. 41 Moduly FS1000A a MX-RM-5V s anténami.	40
Obr. 42 Pinout modulu FS1000A.....	40
Obr. 43 Pinout modulu MX-RM-5V.	41
Obr. 44 Lokácia merania.....	43
Obr. 45 Satelitné zobrazenie lokácie merania.	44

Obr. 46 Reálne zapojenie modulov nRF24L01+PA/LNA.	45
Obr. 47 Schéma zapojenia vysieláča nRF24L01+PA/LNA s Arduino UNO R3.	45
Obr. 48 Programová časť vysieláča nRF24L01+PA/LNA.	46
Obr. 49 Schéma zapojenia prijímača nRF24L01+PA/LNA s Arduino UNO R3.	46
Obr. 50 Programová časť prijímača nRF24L01+PA/LNA.	47
Obr. 51 Meranie v otvorenom priestranstve.	47
Obr. 52 Meranie v otvorenom priestranstve s dažďom.	48
Obr. 53 Reálne zapojenie modulov nRF905.	49
Obr. 54 Schéma zapojenia vysieláča nRF905 s Arduino UNO R3.	49
Obr. 55 Programová časť vysieláča nRF905.	50
Obr. 56 Schéma zapojenia prijímača nRF905 s Arduino UNO R3.	50
Obr. 57 Programová časť prijímača nRF905.	51
Obr. 58 Reálne zapojenie modulov FS1000A a XM-RM-5V.	52
Obr. 59 Schéma zapojenia FS1000A vysieláča.	52
Obr. 60 Programová časť vysieláča FS1000A.	53
Obr. 61 Schéma zapojenia prijímača XM-RM-5V.	53
Obr. 62 programová časť prijímača XM-RM-5V.	54
Obr. 63 Meranie v otvorenom priestranstve.	54
Obr. 64 Schéma zapojenia vysieláču.	55
Obr. 65 Reálne zapojenie vysieláču.	55
Obr. 66 Prvá časť programu vysieláča.	56
Obr. 67 Druhá časť programu vysieláča.	57
Obr. 68 Konštrukcia tela stavebnice.	58
Obr. 69 Hotová konštrukcia stavebnice.	58
Obr. 70 Schéma zapojenia prijímača.	59
Obr. 71 Reálne zapojenie prijímača na tele stavebnice.	59
Obr. 72 Programová časť prijímača.	60
Obr. 73 Výstup serial monitoru pri nabúraní do prekážky.	61
Obr. 74 Výstup serial monitoru pri otáčaní doľava.	61
Obr. 75 Výstup serial monitoru pri točení analógovým joystickom dokruhu.	62

Zoznam použitých tabuliek

Tab. 1 Elektromagnetické spektrum.	12
Tab. 2 Podmienky efektívneho používania frekvenčných pásiem podľa všeobecného povolenia.	23
Tab. 3 Špecifikácie modulu nRF24L01+PA/LNA.	29
Tab. 4 Špecifikácie modulu nRF905.	34
Tab. 5 Špecifikácie modulov FS1000A a XM-RM-5V.	39
Tab. 6 Porovnanie vlastností všetkých troch modulov.	42
Tab. 7 Namerané hodnoty merania dosahu modulu nRF24L01+PA/LNA.	48

Obsah

Zoznam použitých skratiek a symbolov	3
Zoznam použitých ilustrácií	3
Zoznam použitých tabuliek.....	4
Obsah	6
1. Úvod.....	9
2. Vysokofrekvenčný prenos dát.....	10
2.1. Elektromagnetické žiarenie	10
2.2. Spektrum elektromagnetického žiarenia	11
2.2.1. <i>Energia v elektrónvoltoch</i>	12
2.3. Šírenie rádiových vln.....	13
2.3.1. <i>Odraz</i>	13
2.3.2. <i>Ohyb</i>	14
2.3.3. <i>Lom</i>	14
2.3.4. <i>Polarizácia elektromagnetického vlnenia</i>	15
2.4. Rozdelenie rádiových vln podľa spôsobu šírenia.....	16
2.4.1. <i>Ionosférická vlna</i>	16
2.4.2. <i>Troposférická vlna</i>	17
2.4.3. <i>Priestorová vlna</i>	17
2.5. Antény, prijímače a vysielачe	18
2.5.1. <i>Antény</i>	18
2.5.2. <i>Vysielač</i>	19
2.5.3. <i>Prijímač</i>	19
2.6. Modulácia vysokofrekvenčného signálu.....	20
2.6.1. <i>ASK modulácia</i>	20
2.6.2. <i>GFSK modulácia</i>	21
2.7. Ultra krátke vlny	22
2.7.1. <i>Pásmo ISM</i>	22
2.7.2. <i>Voľné pásma pre bezdrôtovú komunikáciu</i>	22
2.7.3. <i>Pásmo 433 MHz</i>	23
2.7.4. <i>Pásmo 2,4 Ghz</i>	24
3. Arduino.....	25
3.1. Základy systému Arduino.....	25
3.1.1. <i>Arduino IDE</i>	25
3.1.2. <i>Arduino UNO R3</i>	27

4. Prieskum trhu dostupných modulov pre bezdrôtový prenos pomocou Arduino systému

28

4.1.	Dostupné možnosti bezdrôtového prenosu pomocou Arduino systému	28
4.2.	Modul nRF24L01+PA/LNA	29
4.2.1.	Typy modulu nRF24L01+	30
4.2.2.	Frekvencia kanálu	31
4.2.3.	Enhanced ShockBurst Protocol.....	31
4.2.4.	Automatické spracovanie packetov	32
4.2.5.	Pinout modulu nRF24L01+PA/LNA.....	32
4.2.6.	Možné módy práce.....	33
4.2.7.	Zapojenie a programovanie modulu nRF24L01+PA/LNA.....	33
4.2.8.	Aplikácie nRF24L01+ alebo nRF24L01+PA/LNA	33
4.3.	Modul nRF905	34
4.3.1.	Možné módy práce.....	35
4.3.2.	Frekvencie kanálov.....	35
4.3.3.	Shockburst protokol	35
4.3.4.	Pinout nRF905	36
4.3.5.	Zapojenie a programovanie modulu nRF905.....	36
4.3.6.	Aplikácie nRF905	37
4.4.	Moduly vysielateľ FS1000A a prijímač MX-RM-5V	38
4.4.1.	Modul FS1000A	38
4.4.2.	Modul MX-RM-5V	39
4.4.3.	Knihovňa Radiohed – ASK	39
4.4.4.	Anténa.....	40
4.4.5.	Pinout FS1000A	40
4.4.6.	Pinout XM-RM-5V	41
4.4.7.	Zapojenie a programovanie modulov	41
4.4.8.	Aplikácie modulu FS1000A a MX-RM-5V	41
4.5.	Porovnanie vlastností modulov	42

5. Meranie dosahu vybraných modulov

44

5.1.	Meranie dosahu modulu nRF24L01+PA/LNA	45
5.1.1.	Zapojenie a programovanie vysielateľovej časti.....	45
5.1.2.	Zapojenie a programovanie prijímačovej časti.....	46
5.1.3.	Výsledky merania dosahu modulu nRF24L01+PA/LNA	48
5.2.	Meranie dosahu modulu nRF905	49
5.2.1.	Zapojenie a programovanie vysielateľovej časti.....	49
5.2.2.	Zapojenie a programovanie prijímačovej časti.....	50
5.2.3.	Výsledky merania dosahu modulu nRF905	51

5.3.	Meranie dosahu modulov FS1000A a XM-RM-5V	52
5.3.1.	<i>Zapojenie a programovanie vysielacej časti.....</i>	52
5.3.2.	<i>Zapojenie a programovanie prijimacej časti.....</i>	53
5.3.3.	<i>Výsledky merania dosahu modulov FS1000A a XM-RM-5V.....</i>	54
6.	Použitie modulu nRF24L01+PA/LNA pre diaľkové ovládanie malej stavebnice auta	55
6.1.	Zapojenie a programovanie vysielacej časti	55
6.2.	Zapojenie a programovanie prijimacej časti.....	58
6.3.	Výsledky diaľkového ovládania.....	61
7.	Záver	63
	Zoznam použitej literatúry	64

1. Úvod

Pre uskutočneniu prenosu dát je možné použiť veľké množstvo spôsobov, od Wi-Fi a Bluetooth zariadení po infračervené a laserové systémy, ale medzi najpoužívanejšie spôsoby patrí prenos v pásmach ISM. Táto práca sa venuje prenosu pomocou voľných frekvenčných pásiem 433 MHz a 2,4 GHz použitím troch rôznych modulov ktoré budú ovládané mikrokontrolérom Arduino UNO R3.

V druhej kapitole sú vysvetlené niektoré základné pojmy rádiového prenosu ktoré sú dôležité pre lepšie objasnenie funkčnosti neskôr použitých modulov. Tiež prichádza k vyjadreniu ohľadom legality práce v týchto pásmach.

Ďalej prichádza k vysvetleniu základov práce so systémom Arduino, jeho použitia v tejto práci, programovaní a štruktúre Arduino UNO R3.

Štvrtá kapitola sa venuje prieskumu trhu dostupných modulov ktoré dokážu spolupracovať so systémom Arduino. Ďalej som sa rozhodol bližšie vyjadriť k trom dostupným modulom. Prichádza k porovnaní vlastností týchto modulov, možností práce s nimi a ich aplikácii.

V piata kapitole sú uvedené výsledky merania dosahu pre všetky moduly za účelom potvrdenia katalógovej hodnoty dosahu.

Na záver, v šiestej kapitole, je uvedený spôsob diaľkového ovládania jednoduchej stavebnice so spätnou komunikáciou medzi vysielateľom a prijímačom.

2. Vysokofrekvenčný prenos dát

2.1. Elektromagnetické žiarenie

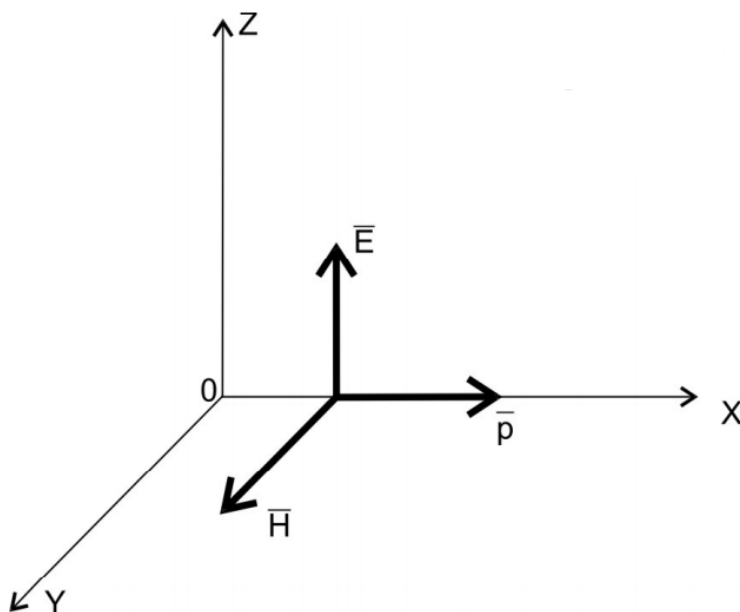
Elektromagnetické žiarenie (radiácia) je obecný prenos energie v podobe elektromagnetického vlnenia alebo prúdu hmotných častíc (žiarenie α , β). Elektromagnetické vlnenie alebo elektromagnetická vlna je lokálne vzniknutá zmena elektromagnetického poľa pri ktorom prichádza k priestorovej a časovej zmene vektora intenzity elektrického poľa a súčasne vektora magnetickej indukcie. Energia tohto žiarenia je šírená a pohlcovaná v podobe jednotlivých kvánt energie tzv. fotónov.

Fotón je elementárna častica ktorá sa pohybuje rýchlosťou svetla c (zaokrúhlene 300 000 km/s) a energia fotónu sa počíta ako $E_f = h \cdot f$ kde f je frekvencia a h je Planckova konštanta. Elektromagnetické žiarenie vykazuje časticovo vlnový dualizmus. To znamená že vykazuje vlnové a časticové vlastnosti pričom vlnové vlastnosti (interferencia vlnenia, ohyb) elektromagnetického žiarenia uplatňuje pri väčších vlnových dĺžkach a časticové vlastnosti (prúd fotónov) uplatňuje pri menších vlnových dĺžkach.

Elektromagnetické vlnenie vo voľnom priestore považujeme za rovinné, je vždy kolmé na smer šírenia a skladá sa z dvoch hlavných zložiek. Elektrická zložka E a magnetická zložka H sú viazané vzťahom:

$$\frac{E}{H} = \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}}$$

Na obr. 1 sú graficky zobrazené závislosti zložky E a H . Tieto zložky sú na seba vždy kolmé a majú vždy rovnakú fázu. Zložka p znázorňuje smer šírenia vlnenia.[5,6,8,9]



Obr. 1 Zložky elektromagnetického vlnenia E, H a p .

2.2. Spektrum elektromagnetického žiarenia

Elektromagnetické žiarenie sa vo svete vyskytuje vo veľkom frekvenčnom rozsahu. Rôzne elektromagnetické pásma sa líšia ich vlastnosťami a kvôli tomu sa nedá používať všetky pásma na to isté použitie. Elektromagnetické vlny rozdeľujeme podľa vlnovej dĺžky. Nižšie budú krátko vysvetlené typy vlnových dĺžok ktoré sú najčastejšie využívané pre uskutočnenie bezdrôtového prenosu dát.

A) Extrémne krátke vlny- EKV (anglicky: Extremely High Frequency- EHF)

Milimetrové vlny (vlnová dĺžka 1-10 mm, frekvencia 30- 300 GHz). Používané hlavne v oblasti výskumu, v rádio astronómii a predovšetkým v rádio reléových spojoch.

B) Super krátke vlny- SKV (anglicky: Super High Frequency- SHF)

Centimetrové vlny (vlnová dĺžka 1-10 cm, frekvencia 3- 30 GHz). Využívajú sa pri družicovej komunikácii a pre rádio reléové spoje.

C) Ultra krátke vlny- UKV (anglicky: Ultra High Frequency)

Decimetrové vlny (vlnová dĺžka 1-10 dm, frekvencia 0,3- 3 GHz). Sú používané pre mobilnú komunikáciu, družicovú komunikáciu, radarové systémy, diaľkové ovládanie a pre prenos televíznych signálov v pásmach 400 MHz, 900 MHz a 1800 MHz. Tiež sú používané pre prenos dát v rádioamatérskych použitíach v frekvenciách 433 MHz a 2,4 GHz a zapadá sem aj Wi-Fi a Bluetooth pásmo.

D) Veľmi krátke vlny- VKV (anglicky: Very High Frequency- VHF)

Metrové vlny (vlnová dĺžka 1-10 m, frekvencia 30- 300 MHz). Používajú sa pre mobilnú komunikáciu v pásmach 80-160 MHz, pre prenos televíznych signálov a rozhlasu.

E) Krátke vlny- KV (anglicky: High Frequency- HF)

(Vlnová dĺžka 10- 100 m, frekvencia 3- 30 MHz). Používané pre vojenské účely, v leteckej komunikácii, priemysle a pre rádiostanice.

F) Stredné vlny- SV (anglicky: Middle Frequency- MF)

(Vlnová dĺžka 0,1- 1 km, frekvencia 0,3- 3 MHz). Využívané sú predovšetkým pre rozhlasové vysielanie, čiastočne tiež pre mobilné komunikácie a pre rádioamatérov.

G) Dlhé vlny- (anglické: Low Frequency- LF)

Kilometrové vlny (Vlnová dĺžka 1- 10 km, frekvencia 30- 300 KHz). Priemyslová komunikácia, lodná letecká navigácia. Pri týchto frekvenciách ale prichádza k veľkému atmosférickému šumu. [6]



Obr. 2 Grafické zobrazenie elektromagnetického spektra.

Tab. 1 Elektromagnetické spektrum.

Trieda		Frekvencia	Vlnová dĺžka	Energia
Y	Žiarenie gamma	300 EHz -30 EHz	1 pm- 10pm	1,24 MeV- 124 keV
HX	Tvrde röntgenové žiarenie	30 EHz -3 EHz	10 pm- 100 pm	124 keV- 12,4 keV
SX	Ľahké röntgenové žiarenie	3 EHz -30 PHz	100 pm- 10 nm	12,4 keV- 124 eV
EUV	Extrémne ultrafialové žiarenie	30 PHz - 3 PHz	10 nm- 100nm	124 eV- 12,4 eV
NUV	Blízke Ultrafialové žiarenie	3 PHz -300 THz	100 nm- 1 μm	12,4 eV- 1,24 eV
NIR	Blízke infračervené žiarenie	300 THz -30 THz	1 μm- 10 μm	1,24 eV- 124 meV
MIR	Stredné infračervené žiarenie	30 THz -3 THz	10 μm- 100 μm	124 meV- 12,4 meV
FIR	Ďaleké infračervené žiarenie	3 THz- 300 GHz	100 μm- 1 mm	12,4 meV- 1,24 meV
EHF	Extrémne krátke vlny	300 GHz -30 GHz	1 mm- 10 cm	1,24 meV- 124 μeV
SHF	Super krátke vlny	30 GHz- 3GHz	1 cm- 10 cm	124 μeV- 12,4 μeV
UHF	Ultra krátke vlny	3 GHz- 300 MHz	10 cm- 1 m	12,4 μeV- 1,24μeV
VHF	Veľmi krátke vlny	300 MHz- 30MHz	1 m- 10 m	1,24 μeV- 124 neV
HF	Krátke vlny	30 MHz- 3MHz	10 m- 100 m	124 neV- 12,4 neV
MF	Stredné vlny	3 MHz- 300 KHz	100 m- 1 km	12,4 neV- 1,24 neV
LF	Dlhé vlny	300 KHz- 30KHz	1 km- 10 km	1,24 neV- 124 peV
VLF	Veľmi dlhé vlny	30 KHz- 3KHz	10 km -100 km	124 peV- 12,4 peV
VF/ULF	Ultra dlhé vlny	3 KHz- 300Hz	100 m- 1 Mm	12,4 peV- 1,24 peV
SLF	Super dlhé vlny	300 Hz- 30 Hz	1 Mm- 10 Mm	1,24 peV- 124 feV
ELF	Extrémne dlhé vlny	30 Hz- 3 Hz	10 Mm- 100Mm	124 feV- 12,4 feV

Na tabuľke uvedenej vyššie je vidieť celé spektrum s rozsahom vlnových dĺžok. Ako rádiové vlny sa označujú zväčša vlny od 30 KHz do 30 GHz. Vlny vyšších frekvencií ako tieto už zapadajú do mikrovĺn, infračerveného žiarenia, viditeľného žiarenia, ultrafialového žiarenia, röntgenového žiarenia a gamma žiarenia.

V tabuľke je vyznačené spektrum UHF (300 MHz - 3 GHz) ktoré budeme viac skúmať a neskôr používať pre uskutočnenie prenosu dát.

2.2.1. Energia v elektrónvoltoch

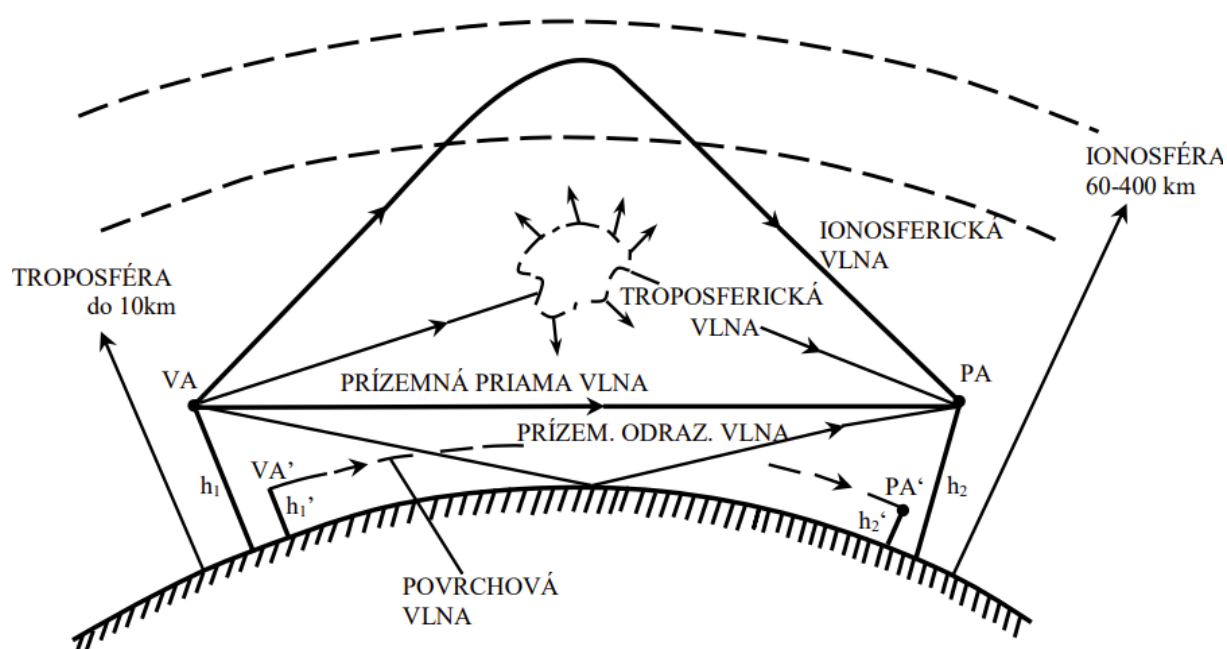
V poslednom stĺpci tab. 1 je uvedená energia špecifickej vlnovej dĺžky v jednotke eV (elektronvolt). Táto jednotka sa používa hlavne v prostredí častíc a nukleárných použití. Definuje sa ako kinetická energia získaná elektrónom zrýchleným vo vákuu napätím jedného voltu. Je to jednotka práce mimo SI sústavy.

Na SI jednotku energie to vieme previesť pomocou tohto prevodu $1 \text{ eV} = 1,602176634 \times 10^{-19} \text{ J}$. Z tohoto vidíme že je to veľmi malé množstvo energie a preto sa často používajú násobky tohto čísla ako keV a MeV.

2.3. Šírenie rádiových vln

Šírenie rádiových vln sa uskutočňuje medzi vysielateľom a prijímačom. Šíria sa rýchlosťou svetla. Vysielač vysiela elektromagnetické žiarenie ktoré, ak sa dostane k prijímaču, indukuje striedavé vysokofrekvenčné napätie. Všetky vlnové dĺžky majú iné vlastnosti šírenia a kvôli tomu im musíme venovať špeciálnu pozornosť. Obecne platí že od zdroja vlnenia – antény vysielачa – sa elektromagnetické vlnenie šíri na všetky strany aspoň pokiaľ anténa nemá smerové účinky. Vlny z antény vystupujú v guľatých vlnoplochách, ktoré sa s rastúcou vzdialenosťou stávajú prakticky rovinné.

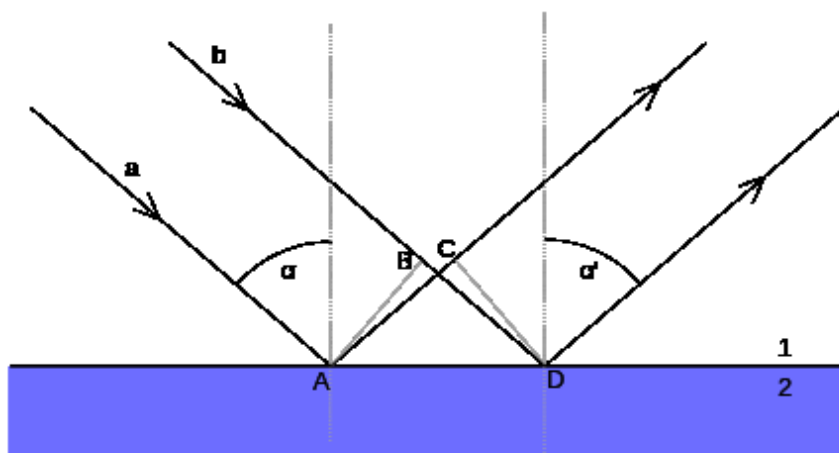
Prakticky je rýchlosť šírenia vln menšia ako rýchlosť svetla keďže reálne prostredie nie je homogénne. Dochádza k odrazu, lomu, rozptylu a rôznym vzájomným kombináciám. Kvôli tomu je šírenie vln v reálnom prostredí komplikované. Reálnym prostredím je atmosféra a skutočný terén planéty. Všetky tieto prekážky spôsobujú odraz, ohyb a je možné že vznikne tieň pričom zemská atmosféra vlny ešte viac tlmí. [1]



Obr. 3 Znáznornenie spôsobov šírenia elektromagnetických vln v okolí Zeme.

2.3.1. Odraz

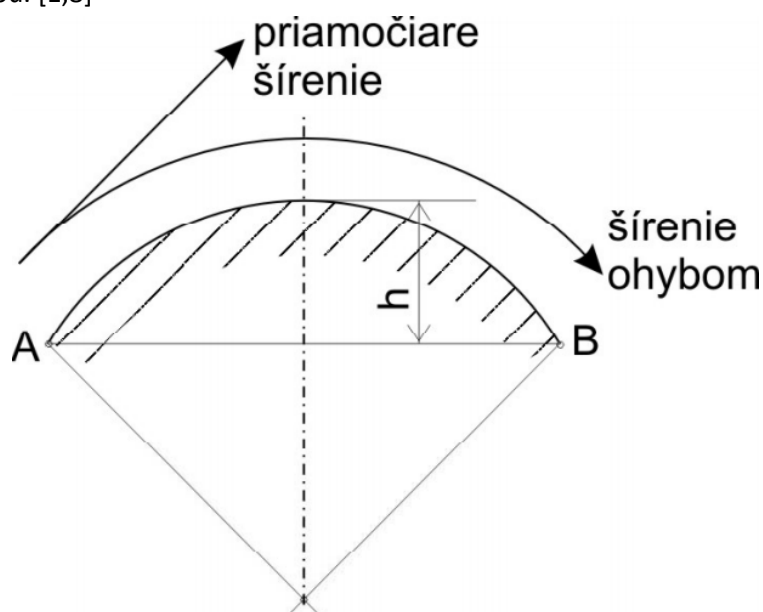
Ak elektromagnetické vlnenie počas šírenia narazí na prostredie ktorého dielektrická konštanta je výrazne odlišná od pôvodného prostredia tak príde k odrazu. Uhol dopadu je vždy rovný uhlu odrazu a pri odrazu prichádza k značnému fázovému posunu a zmenšeniu amplitúdy vlny. Nerovný terén ako napríklad porast na zemi spôsobuje väčšie tlmenie signálu. K takémuto odrazu prichádza hlavne pri dopadu na zemský povrch alebo na silno ionizovanú vrstvu v atmosfére. Odraz nastáva hlavne pri krátkych vlnách a veľmi krátkych vlnách. [1,8]



Obr. 4 Odrazu elektromagnetického vlnenia.

2.3.2. Ohyb

Tiež vieme že existuje ohyb vln ku ktorému dochádza v prípade ak vlna prechádza cez prírodnú alebo inú prekážku a časť energie môže meniť pôvodný smer, vlna sa mierne ohýba a príjem signálu je možný aj za prekážkou. [1,8]

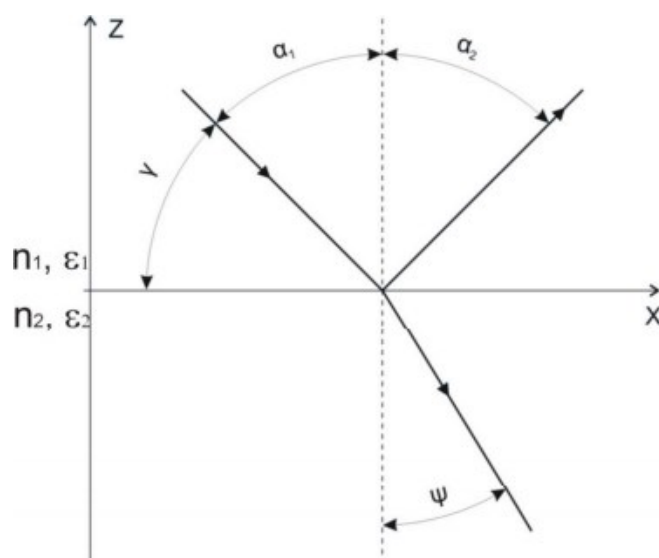


Obr. 5 Šírenie ohybom.

2.3.3. Lom

Okrem odrazu a ohybu sa tiež uplatňuje lom elektromagnetickej vlny (refrakcia). Dôležitou informáciou je index lomu (n). Je to dôležitá veličina ktorá nám predstavuje pomer rýchlosti svetla vo vákuu k fázovej rýchlosti elektromagnetickej vlny v danom prostredí, vyjadrené pomernou dielektrickou konštantou ϵ_r .

Platí, že $n = \frac{c}{v_f} = \sqrt{\epsilon_r}$.

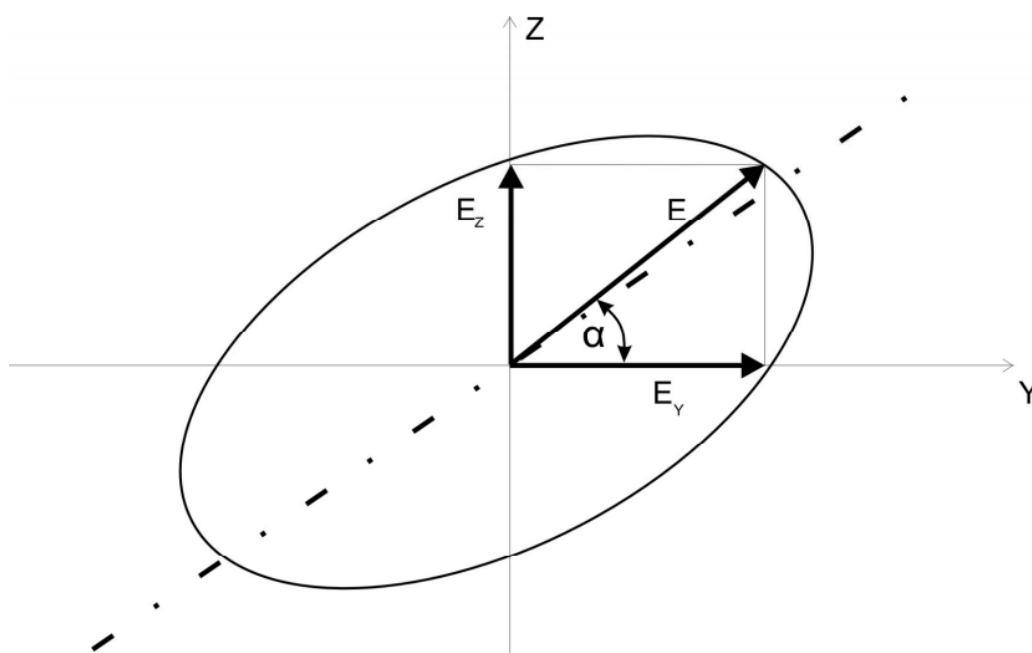


Obr. 6 Lom pri prechode z prostredia s dielektrickou konštantou ϵ_1 do prostredia s ϵ_2 .

Dôležité je že ak dorazí rádiová vlna do prostredia s menším indexom lomu, tj. Do ionizovaného prostredia s väčšou vodivosťou, čelo vlny postupuje rýchlejšie a vlna sa láme do iného smeru. Ako stúpame vo výške od povrchu zeme tak index lomu postupne klesá a tým prichádza k postupnému lomu vlnenia. [1,8]

2.3.4. Polarizácia elektromagnetického vlnenia

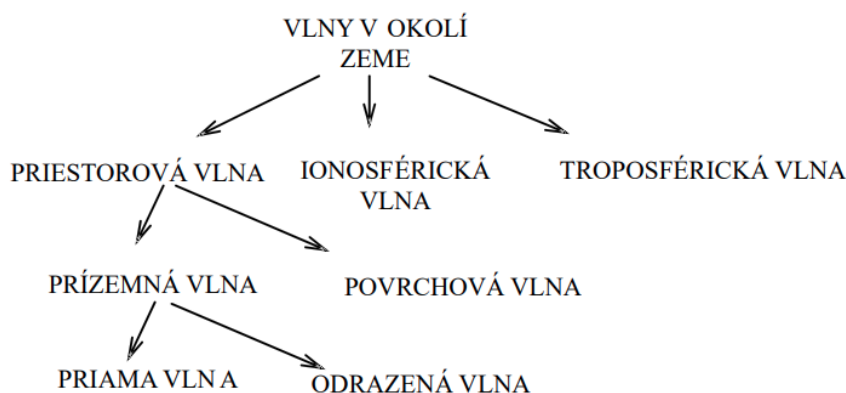
Za polarizáciu považujeme zmenu smeru a intenzity elektrickej zložky elektromagnetického poľa v danom bode za jednu periódu. Poznáme tri typy polarizácie : lineárna, kruhová a eliptická. Elektromagnetické vlnenie vyžiarené anténou, ktoré sa šíri do bodu príjmu má vzhľadom na povrch zeme horizontálnu a vertikálnu zložku (E_y , E_z) elektromagnetického vlnenia. V mieste príjmu sa líšia veľkosťou amplitúdy a fázy. [8]



Obr. 7 Polarizácia elektromagnetického vlnenia.

2.4. Rozdelenie rádiových vln podľa spôsobu šírenia

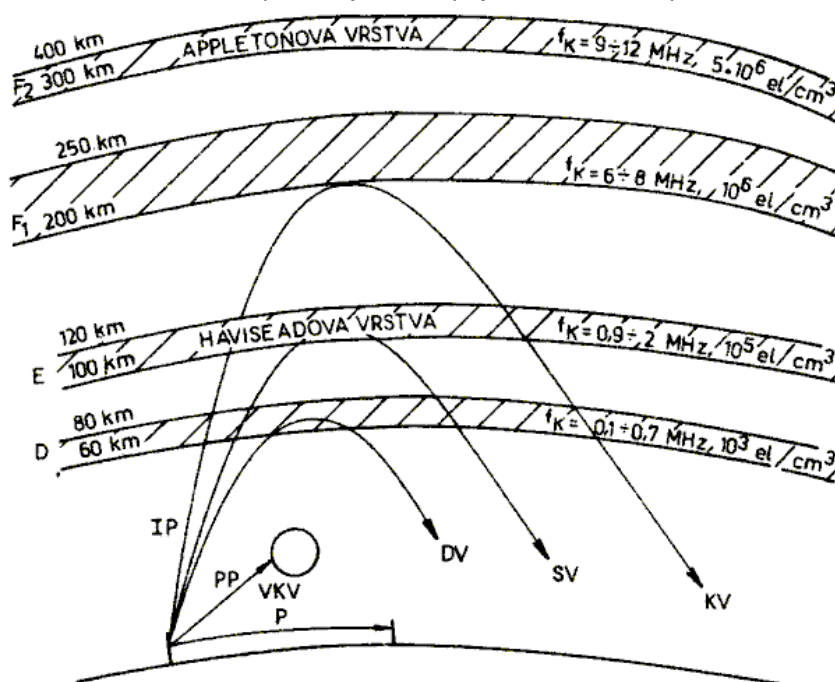
Rádiové vlny rozdeľujeme podľa typu šírenia na tri hlavné: Ionosférické vlny, Troposférické vlny a priestorové vlny ktoré sa všetky šíria inými spôsobmi.



Obr. 8 Rozdelenie rádiových vln podľa spôsobu šírenia.

2.4.1. Ionosférická vlna

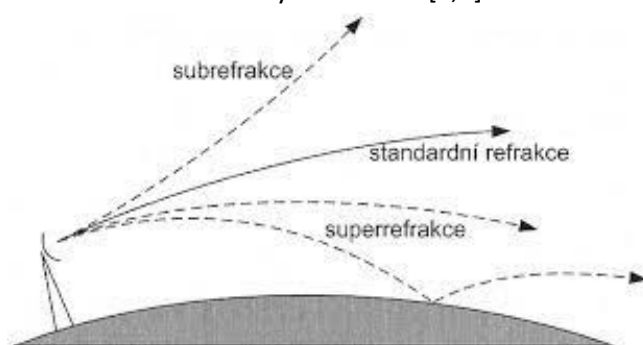
Ionosférická vlna je vlna ktorá smeruje z antény šikmo hore. Šíri sa na veľké vzdialenosti. Smeruje do ionosféry ktorá je vzdialená najmenej 100 km od povrchu zeme. Pri takejto vlne bude postupne prichádzať k lomu až dokým nebude jej smer otočený naspäť k povrchu zeme. Ionosféra sa delí na viacero vrstiev ako D, E, F1 a F2. V týchto vrstvách prichádza k uvoľňovaniu elektrónov z atómov plynov a tým prichádza k vzniku iónov z ktorých táto sféra dostala meno. Problém s ionosférickými vlnami je že rozloženie a hustota ionosféry sa môže veľmi pravidelne alebo nepravidelne meniť pôsobením rôznych vplyvov ako napríklad množstvo slnečného žiarenia, ročné obdobie a magnetické búrky. Ďalší problém je že v ionosfére sa lomí iba vlny typu nižších rádiových frekvencií zatiaľ čo vysoké frekvencie ako napr. UKV alebo EKV cez ionosféru prenikajú a vstupujú do okolitého priestoru. [1,8]



Obr. 9 Zobrazenie ionosférických vrstiev a lomu vln rôznych vlnových dĺžok.

2.4.2. Troposférická vlna

Šíri sa na veľké vzdialenosti (až 1000 km) troposoférickým rozptylom a troposférickým vlnovodom. Patria sem vlny kratšie ako 10 m (VKV, UKV). Šírenie ovplyvňujú vlastnosti ionosférických vrstiev. Troposférické vlny sa šíria pomocou lomu v troposférickej vrstve kde prichádza k miernemu lomu vlny smerom k povrchu zeme. Toto nazývame štandardný lom (štandardná refrakcia). Pôsobením atmosféry môže prísť aj k kritickému lomu (super refrakcia). V tomto prípade sa vlnenie šíri rovnobežne s zemským povrchom. Vlnenie nemôže vybočiť z vrstvy do ktorej preniklo - neumožní to príslušný index lomu. Veľmi zriedkavo dôjde k dosiahnutiu podmienok v stratosfére pri ktorých sa vlny striedavo ohýbajú k povrchu zeme a späť von. Takýto dej nazývame troposférickým vlnovodným kanálom a umožňuje šírenie vln na dlhé vzdialenosti s malým útlmom. [1,8]



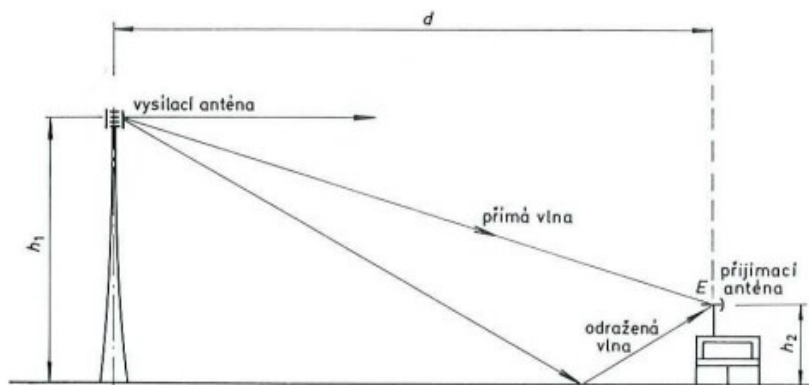
Obr. 10 Rôzne zakrivenie dráhy vlnenia v troposfére.

2.4.3. Priestorová vlna

Šíri sa v blízkosti povrchu Zeme. Rozdeľujú sa na povrchové vlny a prízemné vlny. Sú to vlny o veľmi vysokých frekvenciách keďže takéto vlny sa neodrážajú od ionosféry (UKV, SKV...)

Povrchová vlna je vyžarovaná vysielačovou anténou umiestnenou nad Zemským povrchom – jej tlmenie je závislé od parametrov Zemského povrchu. Šíri sa pozdĺž tohoto povrchu- sleduje zakrivenie.

Prízemné vlny sú vlny ktoré vyžaruje vysielačová anténa umiestnená relatívne vysoko nad zemským povrchom. Takéto vlny sa ďalej rozdeľujú na priame a odrazené. Takéto vlny uplatňujú terénne prekážky a elektrickú vodivosť povrchu zeme. Priamo sa môže signál spojiť iba ak to dovoľuje terén. Inak ide o odrazenú vlnu. Dosah takýchto vln je z pravidla krátky, desiatky možno stovky metrov v prípade priamych vln. Väčšiu vzdialenosť vieme dosiahnuť odrazom od zemského povrchu alebo prenosovými anténami. V našom prípade budeme používať priame vlny v rozsahu ultra krátkych vln s frekvenciami 433 MHz a 2,4 GHz pomocou ktorých uskutočníme prenos dát. [1,8]

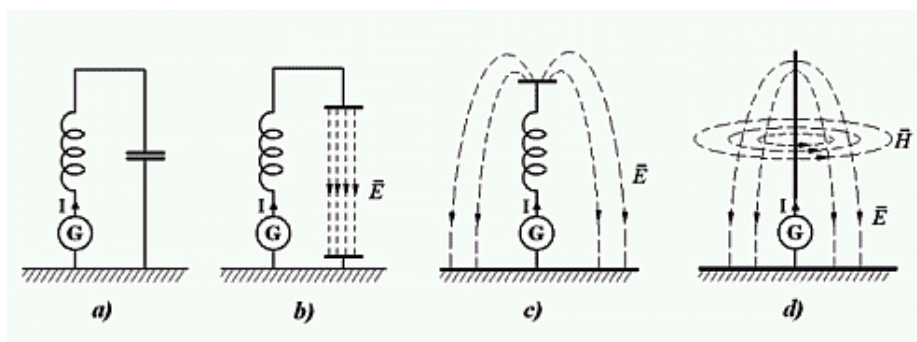


Obr. 11 Šírenie prízemných vln.

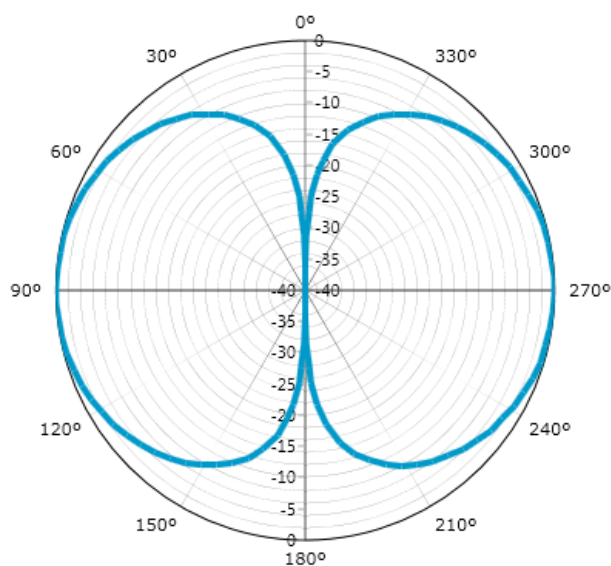
2.5. Antény, prijímače a vysieláče

2.5.1. Antény

Antény sú sústavy vodičov ktoré sú schopné premieňať energiu vysokofrekvenčného prúdu na energiu voľného elektromagnetického poľa a naopak. Dôležitými vlastnosťami antén je napríklad vstupná impedancia Z a jej závislosť na frekvencii. K najúčinnnejšiemu prenosu prichádza vtedy ak má vstupná impedancia charakter čisto činného odporu. Všeobecne sa skladá z reálnej a imaginárnej zložky $Z = R_a + jX_a$. Tiež nás zaujíma zisk značený ako G ktorý definujeme ako pomer intenzity elektromagnetického poľa v určenom mieste k intenzite poľa ideálneho žiariča pri rovnakom dodávanom výkone. Zisk sa značí v decibeloch (dB). Dôležitá je aj účinnosť antény η ktorá vyjadruje pomer skutočného výkonu antény k príkonu dodaného anténe. Smerovosť F nám vyjadruje rozloženie energie do rôznych smerov okolo antény. Často sa na lepšie znázornenie používajú vyžarovacie diagramy horizontálne a vertikálne. Efektívna plocha antény A je plocha ktorou je anténa schopná zachytiť prichádzajúce žiarenie. Podľa toho v ktorom smere energiu premieňajú ich rozdeľujeme na vysielacie alebo prijímacie. Samotné antény budú mať rovnaké vlastnosti nezávisle na tom či budú použité ako prijímacie alebo vysielacie. Keďže antény sú rezonančné obvody môžeme si ich predstaviť ako sériovo zapojený LC obvod. V realite je cievka indukčnosťou samotného vodiča a kapacita samotnou kapacitou vodiča vzhľadom k zemi a okoliu. [1,10]



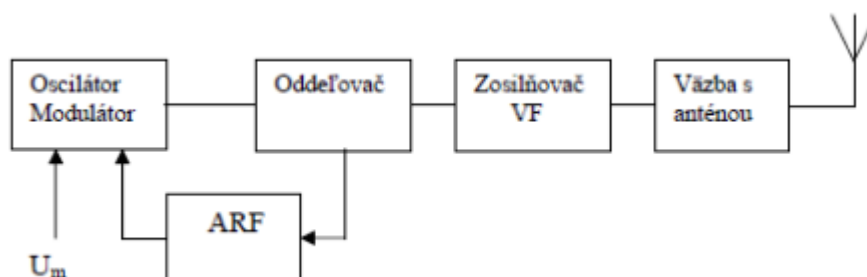
Obr. 12 Princíp antény.



Obr. 13 Vyžarovací diagram antény.

2.5.2. Vysielač

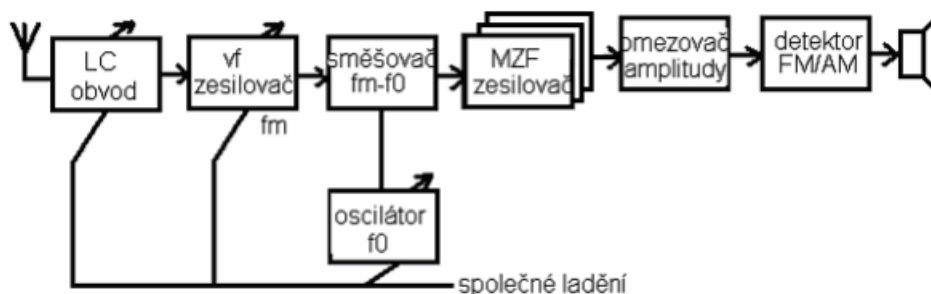
Za vysielateľ považujeme elektronický systém ktorý vytvára za pomoci oscilátora vysokofrekvenčný signál ktorý modulujeme, zosilňujeme a pomocou napájajúceho prevádzame na žiaricu (anténu) ktorý vysokofrekvenčný signál premení na elektromagnetické žiarenie ktoré sa môže šíriť do okolia. Blok ARF v blokovej schéme nižšie je automatická regulácia.



Obr. 14 Bloková schéma vysielача s FM moduláciou.

2.5.3. Prijímač

Za prijímač považujeme elektronický systém ktorého anténa prijíma elektromagnetické žiarenie špecifickej frekvencie anténa tento signál premení na elektrický prúd ktorý napájačom prepojíme s LC obvodom ktorý signál filtruje aby sme používali iba potrebné časti po čom signál zosilňujeme, modulujeme a spracovávame pre ďalšie použitie . Pri zvukovom prenose môže byť výstupom reproduktor. Pre nás bude výstupom mikrokontrolér Arduino ktorý signál spracuje a ďalej použije pre naše potreby.



Obr. 15 Bloková schéma přijímače.



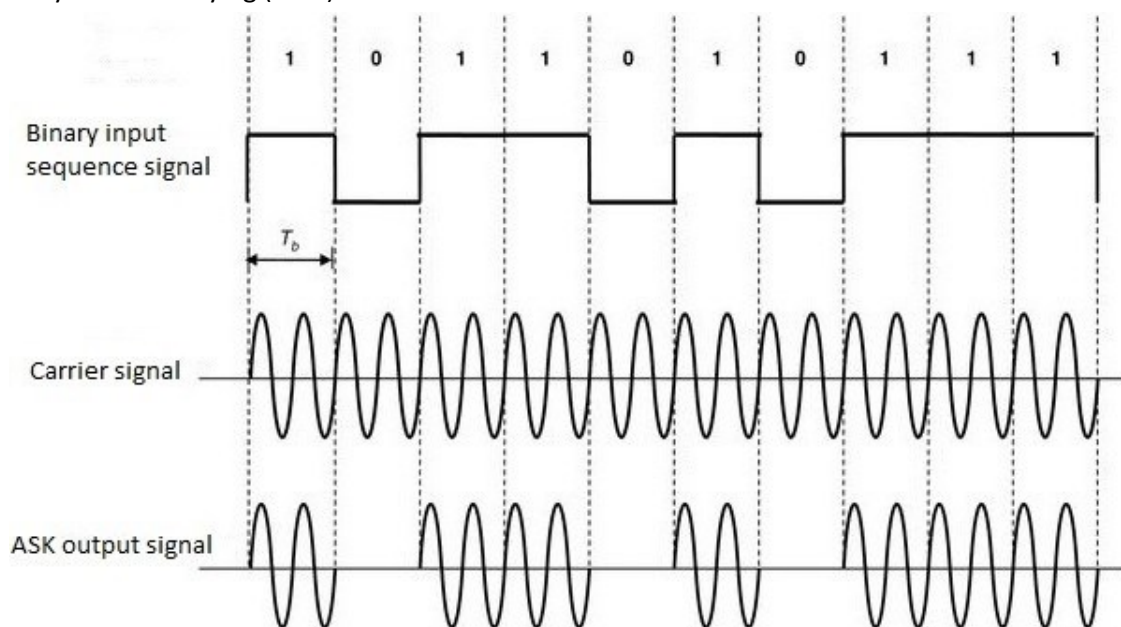
Obr. 16 Vysielač FS1000A (vľavo) a prijímač XM-RM-5V (vpravo).

2.6. Modulácia vysokofrekvenčného signálu

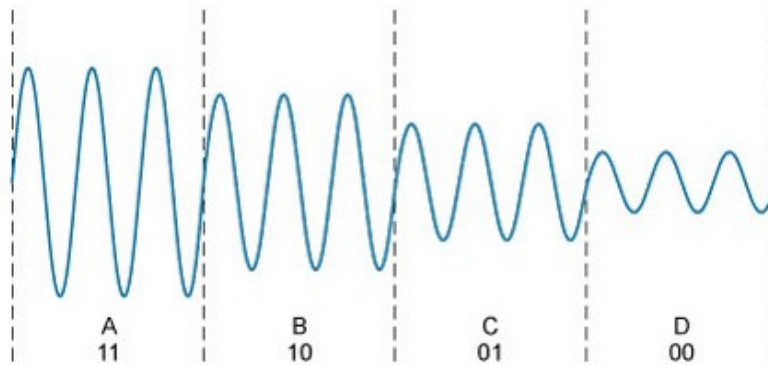
Aby sme dokázali pomocou vysokofrekvenčného signálu preniesť dáta musíme uskutočniť moduláciu signálu. Modulácia je proces pri ktorom meníme vlastnosti nosného signálu pomocou modulačného signálu a tým dokážeme z výsledného modulovaného signálu vyčítať potrebné informácie. Najčastejšie používame amplitúdovú alebo frekvenčnú moduláciu. Tiež poznáme analógové, digitálne a diskkrétne modulácie. My budeme používať digitálne modulácie typu ASK (amplitude shift keying - kľúčovanie amplitúdovým posuvom) a GFSK (Gaussian frequency shift keying - kľúčovanie Gaussovským frekvenčným posuvom).

2.6.1. ASK modulácia

Kľúčovanie amplitúdovým posuvom je digitálna forma amplitúdovej modulácie pri ktorej pomocou zmeny amplitúdy nosnej vlny dokážeme rozpoznať digitálne dáta. Moduláciu uskutočňujeme pomocou modulačného digitálneho signálu ktorý odpovedá digitálnym 0 a 1. Modulovaný signál budeme násobiť s nosným signál ktorý má vysokú frekvenciu a výsledný signál bude odpovedať prevodu digitálnych 1 a 0 na analógový signál. V prípade že bude modulačný signál digitálna 0 náš výsledný signál bude mať nulovú amplitúdu ak ale modulačný signál je digitálna 1 tak výsledný modulovaný signál bude mať amplitúdu a frekvenciu nosného signálu. Túto formu modulácie bude používať modul FS1000A a XM-RM-5V. Modulácia ASK je citlivá na atmosférický šum a skreslenie ale samotná modulácia a demodulácia je vcelku jednoduchá. Najčastejšie sa používa BASK (binary amplitude shift keying) ktorá využíva iba hodnoty 1 a 0. Tiež sa zvykne používať komplikovanejšia forma pri ktorej používame viacero úrovní amplitúdy (napr. štyri alebo osem úrovní amplitúdy). V prípade viacúrovňovej modulácie sa každej úrovni priraduje kombinácia 0 a 1 ako je uvedené na obr. 18. V angličtine sa takáto modulácia často nazýva on-off keying (OOK).



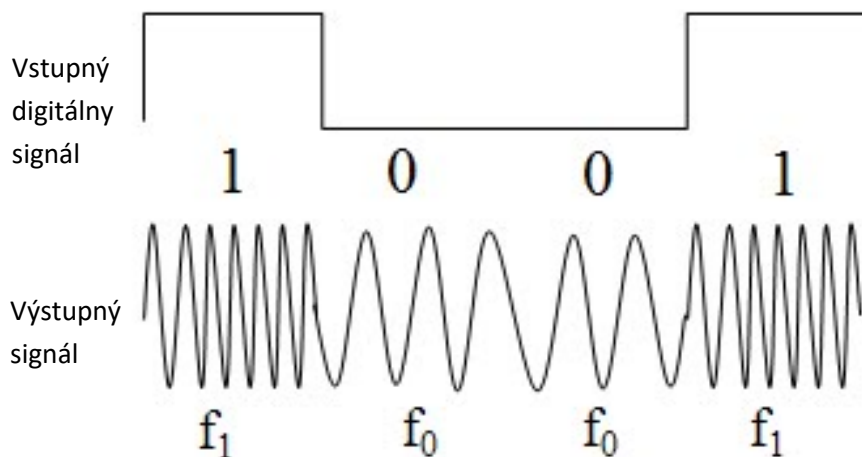
Obr. 17 ASK modulácia.



Obr. 18 Viacúrovňová ASK modulácia s pridelenými kombináciami 1 a 0.

2.6.2. GFSK modulácia

Kľúčovanie frekvenčným posuvom je digitálna forma frekvenčnej modulácie pri ktorej zmenou frekvencie nosného signálu dokážeme rozpoznať digitálne dáta. Vstupom je digitálny signál 0 a 1 a aspoň dve nosné signály ktoré majú rozdielnú frekvenciu ale rovnakú amplitúdu. Výstupný signál budeme meniť podľa úrovne modulačného signálu. K logickým hodnotám 1 a 0 pridelieme frekvenciu f_{n1} a f_{n0} a ak je na vstupe 1 tak vysielame frekvenciu f_{n1} a ak je tam 0 tak vysielame f_{n0} . Túto zmenu frekvencie vieme nasledovne rozpoznať a znova previesť na digitálne hodnoty. Normálne je zmena vo frekvencii skoro okamžitá ale pri použití GFSK je použitý gaussovský filter ktorý zmeny vyhladzuje. Týmto znižuje výkon vytvorený postrannými pásmami našej nosnej frekvencie a tak znižuje rušenie okolitých kanálov. GFSK modulácia bude použitá modulmi nRF905 a nRF24L01+PA/LNA. Takáto forma modulácie sa tiež dá uskutočniť s viacerými úrovňami frekvencie. Výhodou FSK je že je odolná voči väčšine rušení ale potrebuje väčšie frekvenčné pásmo pre správnu funkciu.



Obr. 19 FSK modulácia.

2.7. Ultra krátke vlny

Ultra krátke vlny (elektromagnetické žiarenie ultra vysokých frekvencií- UVF) sú vlny o dĺžke 1-10 dm a kvôli tomu ich nazývame decimetrové. Ich frekvenčný rozsah je od 300 MHz do 3 GHz. Vlny v tomto pásme sa šíria ako priame alebo odrazené prízemné vlny. Sú používané pre mobilné pásma, televízne pásma, vysielачky alebo GPS. Často sú používané rádioamatérmi pre uskutočnenie diaľkového ovládania alebo diaľkového monitorovania. Tiež môžu poskytovať vysokorýchlostné širokopásmové pripojenie k internetu alebo spojenie systémom bluetooth.

Takýto prenos je silno ovplyvnený atmosférickou vlhkosťou, slnečným žiarením, fyzickými prekážkami a tiež dennou dobou ktoré všetky môžu znižovať silu signálu.

Veľkou výhodou prenosu UKV je ich krátka vlnová dĺžka. Veľkosť vysielacích a prijímacích antén je závislá na dĺžke vlny a tak je UKV anténa kratšia a silnejšia.

Nevýhodou je ich obmedzený rozsah vysielania a krátka vzdialenosť medzi vysielacími, prenosovými a prijímacími anténami.

2.7.1. Pásmo ISM

Ak chceme uskutočniť bezdrôtovú komunikáciu rôznych zariadení použitím ultra vysokých frekvencií tak jeden z najlepších spôsobov je využiť pásmo ISM (Industrial, Scientific and Medical) do ktorého zapadajú frekvenčné pásma ktoré sú na území Slovenskej aj Českej republiky možné používať aj bez plateného povolenia. Tieto pásma sú 433,05-434,79 MHz a 2400 MHz- 2500 MHz. Pásma ISM sú často používané na ovládanie RC modelov, zariadenia pre vysokofrekvenčný ohrev a rôzne rádioamatérske použitia. Do týchto pásiem tiež zapadajú komunikácie pomocou Wi-Fi a bluetooth ktoré sa obe pohybujú na frekvencii 2,4 GHz.

Nás budú tieto dve pásma blízko zaujímať keďže v nich budeme uskutočňovať prenos dát pomocou systému Arduina a modulov určených na tieto frekvencie.

2.7.2. Voľné pásma pre bezdrôtovú komunikáciu

Ak chcete uskutočniť bezdrôtovú komunikáciu v ISM pásmach je dôležité vedieť rádiové povolenia vydané krajinou v ktorej komunikáciu chcete uskutočniť. Ak budete používať pásma ktoré sú vyhradené pre vojenskú, televíziu, zdravotnú alebo inú vyhradenú komunikáciu je možné že dostanete pokutu od štátu alebo pôjdete do väzenia. V prípade Slovenskej republiky zákony vzťahujúce sa na použiteľné pásma vieme nájsť na stránkach Úradu pre reguláciu elektronických komunikácií a poštových služieb. Pásma ktoré zapadajú pod povolené sú uvedené v všeobecnom povolení č. VPR – 02/2020. Toto povolenie nám hovorí o používaní frekvencií pri prevádzkovaní nešpecifických rádiových zariadení s krátkym dosahom (*SRD- Short Range Devices*), určených na prenos dátových, hovorových a iných signálov. Špecifikuje tiež že je možné používať iba zariadenia s integrovanou alebo výrobcom definovanou anténou. Všetky frekvenčné pásma majú definované podmienky efektívneho používania a tieto podmienky sú pre naše frekvencie popísané v tab. 2.

V tabuľke je použitých zopár výrazov o ktorých by bolo dobré vedieť viac. Skratka e.r.p. hovorí o efektívne vyžiarenom výkone čo je celkový výkon vyžiarený z antény. Pracovný cyklus stanovuje časový pomer z každého jednod hodinového intervalu, počas ktorého je zariadenie aktívne. K tomuto obmedzeniu prichádza z dôvodu možného rušivého vplyvu na pásmo v prípade porušenia maximálneho cyklu. Ak používame zariadenie ktoré je vybavené technikou zameranou na zmiernenie rušenia ako napr. LBT (Listen before talk) a AFA (Adaptive Frequency Agility) tak je možné mať iné

obmedzenie ale v prípade že naše zariadenie nie je takouto technikou vybavené tak sa obmedzenie pracovného cyklu vzťahuje na celé vysielanie. [7]

Tab. 2 Podmienky efektívneho používania frekvenčných pásiem podľa všeobecného povolenia.

Frekvenčné pásmo	Maximálny povolený výkon	Dodatočné parametre, ktoré musí spĺňať rádiové zariadenie uvedené do prevádzky (šírka kanálov a/alebo pravidlá prístupu a obsadenia kanálov)	Iné povinnosti súvisiace s používaním
433,050 - 434,790 MHz (pásmo 44a v (EU) 2019/1345)	1 mW e.r.p. a max. výkonová hustota -13 dBm/10kHz 6) pri modulácii s šírkou pásma nad 250 kHz	-	Video aplikácie sú povolené za použitia vyspelých techník na zmiernenie rušenia. Ostatné audio a video aplikácie sú vylúčené
433,050 - 434,790 MHz (pásmo 44b v (EU) 2019/1345)	10 mW e.r.p.	Maximálny pracovný cyklus < 10 %.4)	-
2,400 - 2,4835 GHz (pásmo 57a v (EU) 2019/1345)	10 mW e.i.r.p.	-	-

2.7.3. Pásmo 433 MHz

Dva páry z našich modulov sa budú pohybovať v tomto pásme (vysielač FS1000A, prijímač XM-RM-5V a modul transceiver nRF905). Je dobré vedieť špecifickú vlnovú dĺžku tohto pásma keďže nám to môže pomôcť pri výbere antény. Vlnová dĺžka by mala byť v rozsahu 1-10 dm.

Príklad výpočtu vlnovej dĺžky:

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{299\,792\,458}{433\,000\,000} = 0,69\,m \rightarrow \lambda = 6,923\,dm$$

Dĺžka antény sa väčšinou vyberá ako $\lambda/2$ ale pre vysokofrekvenčné použitie je v poriadku aj $\lambda/4$.
Dĺžky antén:

$$\frac{\lambda}{2} = 3,462\,dm; \quad \frac{\lambda}{4} = 1,731\,dm$$

Dĺžka antény pre najlepšie šírenie v tomto pásme by mala byť okolo 34,62 alebo 17,3 cm. Ako bolo písané už vyššie malé rozmery antén v pásme UKV sú jedny z hlavných výhod tohto pásma. Keďže toto pásmo patrí do pásiem ISM a je bezlicenčné, je celkom často používané rádioamatérmi a kvôli tomu môže prichádzať k rušeniu. Signály v tomto pásme sa ťažko šíria v uzavretých priestoroch ale v otvorenom priestranstve môžu mať dosah v najlepších podmienkach aj do 1-2 km. Toto pásmo je často industriálne používané ako komunikácia na krátke a stredné vzdialenosti.

2.7.4. Pásmo 2,4 Ghz

V tomto pásme budeme pracovať s modulom nRF24L01 PA/LNA. Toto pásmo je najviac využívané keďže tu prebieha k prenosu Wi-Fi a Bluetooth. Pásmo má málo obmedzení a používa sa celkom jednoducho. V uzavretých priestoroch prenáša lepšie ako 433Mhz signál ale stále nie je perfektné a prichádza k rušeniu. K rušeniu prichádza v prípade ak iné aktívne zariadenia pracujú v rovnakej oblasti spektra. 2,4 Ghz signál je stabilnejší a má väčšinou lepší dosah ako 433 Mhz.

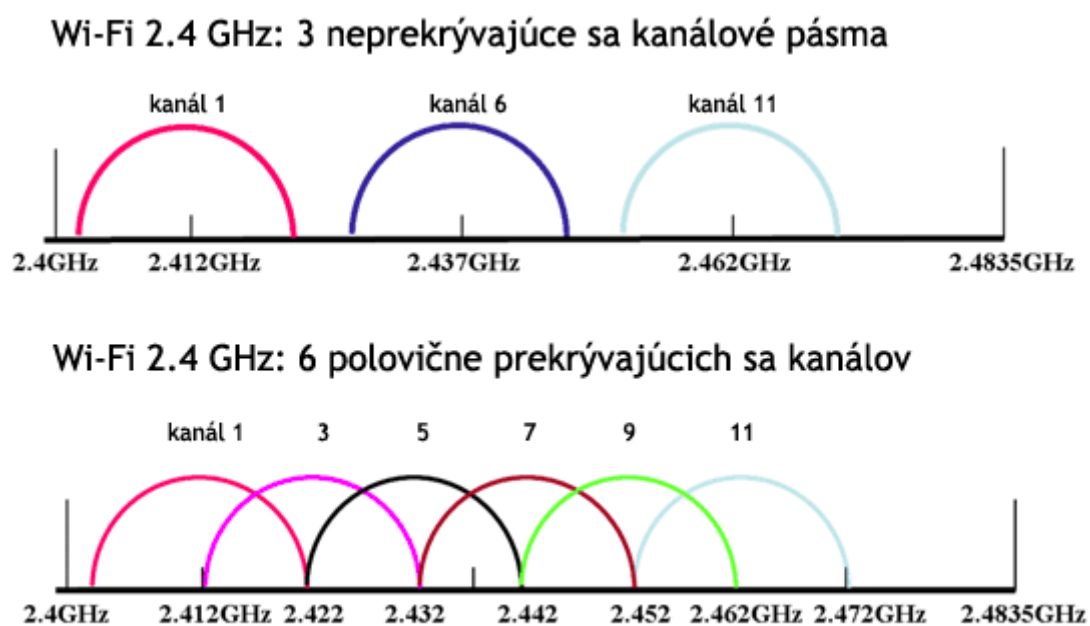
Výpočet dĺžky vlny:

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{299\,792\,458}{2\,400\,000\,000} = 0,12491\,m \rightarrow \lambda = 1,249\,dm$$

Dĺžky antén:

$$\frac{\lambda}{2} = 6,245\,cm; \quad \frac{\lambda}{4} = 3,123\,cm$$

Dĺžka antény pre najlepšie šírenie v tomto pásme by mala byť okolo 6,245 alebo 3,123 cm. Toto pásmo sa väčšinou používa k prístupu na internet pomocou WLAN štandardu 802.11g a 802.11n. V tomto pásme pracujú aj mikrovlnné rúry, Bluetooth a podobné zariadenia. Celkovo Wi-Fi signál používa 13 kanálov ktoré sa navzájom prekrývajú. Kanály majú pásmovú šírku 20 Mhz pričom stred prvého pásma je na 2,412 Ghz.



Obr. 20 Zobrazenie šírky pásma kanálov WLAN a ich prekrývania.

3. Arduino

3.1. Základy systému Arduino

Arduino je open-source elektronická platforma založená na ľahko použiteľnom hardware a software. Základom každej Arduino dosky je schopnosť čítať digitálne a analógové vstupy a premeniť ich na výstup. Vďaka tomuto dokážu Arduino systémy ovládať alebo čítať údaje z veľkej škály rôznych prvkov. Každá doska Arduino obsahuje mikrokontrolér, väčšinou typu ATmega od firmy Atmel. Tieto mikrokontroléri vieme programovať pomocou Arduino programovacieho jazyku ktorý je založený na jazyku Wiring v prostredí Arduino IDE ktoré je založené na prostredí Processing. Existuje veľa rôznych typov Arduino dosiek ktoré sa líšia veľkosťami, výkonom, počtom voľných pinov, možnosťou komunikácie s PC, možnosťou napájania alebo rôznymi špecifickými použitiami ako napríklad Arduino Esplora (joystick), Arduino Robot (k vytvoreniu vlastného smart robota) alebo napríklad Arduino LilyPad (pre vytváranie rôznych nositeľných zariadení). My budeme používať Arduino UNO R3 ktoré patrí medzi najčastejšie používané Arduino dosky. Keďže Arduino, je open-source tak je legálne vytvárať tzv. klony ktoré majú zväčša tú istú funkcionlitu ale menšiu cenu a kvalitu ako pravé Arduino. V našej práci bude jedno Arduino originálne tzv. Genuino a druhé bude klon.[3]



Obr. 21 Rôzne typy Arduino dosiek.

3.1.1. Arduino IDE

Ako bolo spomenuté už vyššie Arduino IDE je založené na prostredí Processing a je používané na písanie a uploadovanie programov na Arduino dosky. Samotný programovací jazyk je založený na C a C++ s tým že používa softwarové knihovne z Wiring čo dodáva veľa bežných vstupných a výstupných možností. Arduino IDE obsahuje textový editor pre písanie programu, pole so správami o stave nášho programu alebo uploadu, pole so sériovou komunikáciou alebo tiež možnosť stiahnutia rozsiahleho množstva knižníc priamo cez software.



```
Reciever_nrf24 | Arduino 1.8.13
File Edit Sketch Tools Help

Reciever_nrf24
1 #include <SPI.h>
2 #include <nRF24L01.h>
3 #include <RF24.h>
4
5 RF24 radio (7,8);
6
7 const byte address[6]= "000006";
8 const int LedPin = 4;
9 int Button_state = 0;
10
11 void setup() {
12   Serial.begin(9600);
13   pinMode (4,OUTPUT);
14   radio.begin();
15   radio.openReadingPipe (0,address);
16   radio.setPALevel (RF24_PA_MIN);
17   radio.startListening ();
18 }
19 void loop() {
20   if (radio.available()){
21     char text[32] = "";
22     radio.read(&text, sizeof(text));
23     radio.read(&Button_state, sizeof(Button_state));
24     if(Button_state == HIGH){
25       digitalWrite(LedPin, HIGH);
26       Serial.println(text);
27     }
28     else {
29       digitalWrite (LedPin,LOW);
30       Serial.println(text);}
31   }
32   delay (5);
33 }
```

Done compiling.

Sketch uses 3202 bytes (9%) of program storage space. Maximum is 32256 bytes
Global variables use 224 bytes (10%) of dynamic memory, leaving 1824 bytes free

33 Arduino Uno on COM3

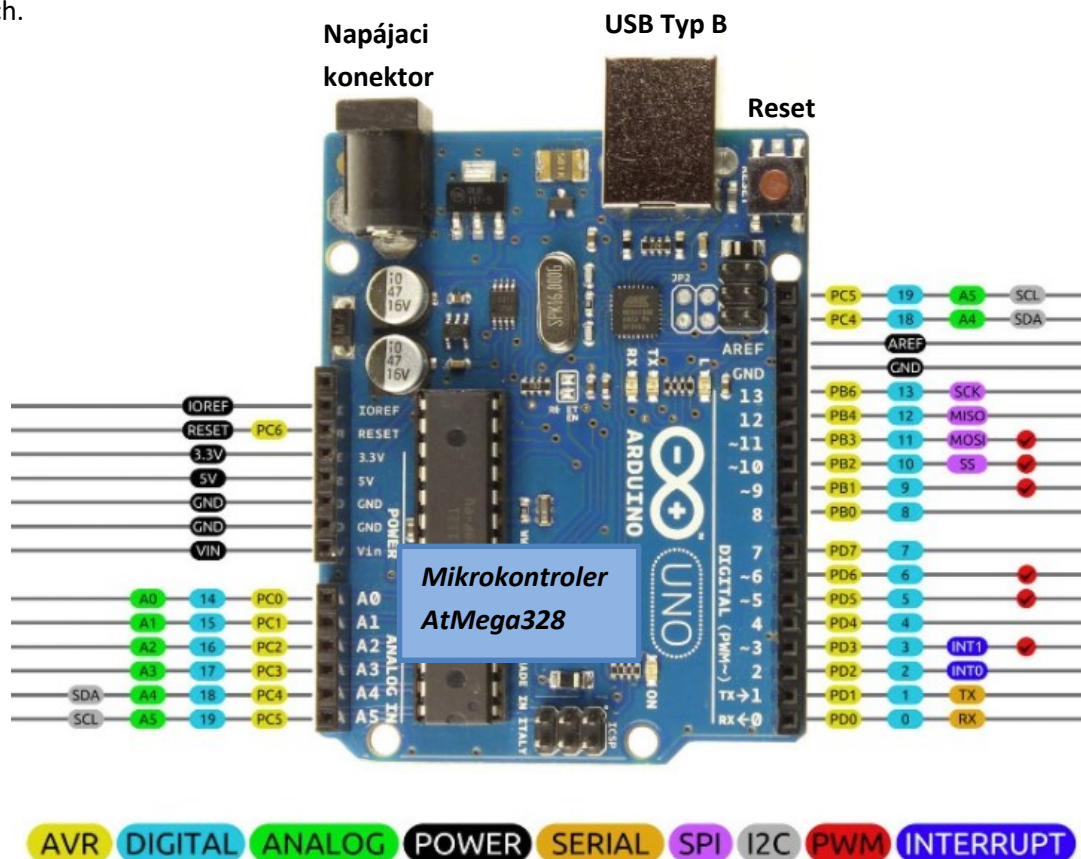
Obr. 22 Príklad programu v Arduino IDE.

Na obr. 22 môžeme vidieť názorný príklad programu vytvoreného pomocou Arduino IDE. V tomto prípade ide o veľmi jednoduchý program pre ovládanie prijímaču modulu NRF24L01+PA/LNA. Tento program umožňuje prenos stavu tlačidla z vysieláča na prijímač s tým že zmena stavu tohto tlačidla zapne alebo vypne LED diódu na strane prijímača. V prvej časti vkladáme potrebné knižnice ktoré budeme potrebovať pre prácu s našimi modulmi. Ďalej môžeme vytvoriť globálne konštanty a premenné. Každý program Arduina musí mať dve hlavné časti. Funkcia void setup () sa spustí iba raz na začiatku programu a používame ju na nastavenie parametrov a stavu pinov. Funkcia void loop () sa po dokončení setupu periodicky spúšťa až dokým nepríde k odstráneniu pripojenia k zdroju elektrickej energie. V našom prípade môžeme vidieť že v setupe nastavujeme pin 4 na Arduine ako výstupný a ďalej začíname a otvárame komunikáciu s vysielateľom. V funkcii loop čakáme na príjem dát a ak ich dostaneme tak ich uložíme a použijeme ďalej na zapnutie alebo vypnutie LED diódy. Loop sa opakuje stále dookola takže ak príde k zmene stavu tlačidla tak príde k vypnutiu alebo zapnutiu LED diódy. Pre

naše použitia budeme používať knihovne ako napr. Radiohead, RF24 a nRF905 ktoré majú veľa užitočných funkcií a príkazov ktoré nám umožnia a zjednodušia proces programovania a prenosu dát cez použité moduly. [3]

3.1.2. Arduino UNO R3

Je jeden z najznámejších typov Arduino dosky s najširším použitím. Nájdeme na ňom procesor Atmega328 a pracuje cez klasické USB. Na báze Arduino Uno boli postavené ďalšie dve špeciálne dosky. Arduino Ethernet má namiesto USB portu Ethernet port a Arduino Bluetooth ma namiesto USB portu bezdrôtový Bluetooth modul. Pri práci s ktoroukoľvek Arduino doskou je dôležité vedieť o všetkých jej častiach.



Obr. 23 Doska Arduino UNO R3 s vyznačenými pinmy.

Hlavnou časťou je mikrokontrolér umiestnený na doske. Máme tam napájací konektor ktorým dosku môžeme dosku napájať v prípade že ho nenapájame z USB. Ďalej tu je USB konektor typu B ktorý umožňuje uploadovanie programov na dosku alebo napájanie dosky. Tiež tu je tlačidlo reset ktorým môžeme program spustiť odznova. Na ľavej hornej strane sú napájacie piny pod ktorými máme šesť analógových vstupov pomocou ktorých vieme merať analógové hodnoty. Tiež sa dajú použiť ako digitálne vstupy a výstupy. Na pravej strane zo zhora máme digitálne piny pričom na pinoch s vlnovkou vieme uskutočniť PWM (pulse width modulation - pulzne šírková modulácia). Ďalej tam sú dve ICSP hlavice ktorými vieme programovať mikrokontrolér externe a USB-serial prevodník ktorý sa stará o komunikáciu medzi PC a mikrokontrolérom. [3]

4. Prieskum trhu dostupných modulov pre bezdrôtový prenos pomocou Arduino systému

4.1. Dostupné možnosti bezdrôtového prenosu pomocou Arduino systému

Existuje veľké množstvo modulov ktoré umožňujú bezdrôtový prenos pomocou systému Arduino. Prenos by sme dokázali uskutočniť pomocou modulov ktoré komunikujú cez infračervené žiarenie, systém Bluetooth, pripojenia na Wi-Fi, rôzne svetelné a zvukové signály alebo iné typy prenosu. V tejto práci som si vybral prenos v oblasti ultra krátkych vĺn, špecificky na frekvenciách 433 Mhz a 2,4 Ghz. K tejto voľbe došlo kvôli jednoduchosti a voľnosti práce v týchto pásmach. Moduly v týchto pásmach majú široké použitie a dokáže si ich zaobstarať každý. Používanie modulov v týchto frekvenciách má zväčša dobrý pomer ceny a výkonu, sú spoľahlivé a dokážu bezproblémovo komunikovať s systémom Arduino alebo inými mikropočítačmi (napr. dosky Raspberry Pi). Pri frekvencii 433 Mhz budeme používať modul transceiver nRF905 s externou anténou a moduly transmitter FS1000A a receiver XM-RM-5V. Pri frekvencii 2,4 Ghz budeme používať modul nRF24L01+ PA/LNA s externou anténou. V ďalšej časti sa k týmto modulom bližšie vyjadríme a budeme sa sústrediť na dôležité vlastnosti pri prenose dát ako sú dosah, rýchlosť prenosu, cena, modulácia a celková jednoduchosť a použiteľnosť jednotlivých modulov. Budeme sa vyjadrovať k možnostiam programovaniu a používania knižníc ktoré nám uľahčia a urýchlia prácu. Ďalej budeme rozpisovať možnosti zapojenia práce s modulmi, niektoré moduly budú vyžadovať použitie SPI pinov Arduino dosky zatiaľ čo iným bude stačiť ktorýkoľvek digitálny pin.



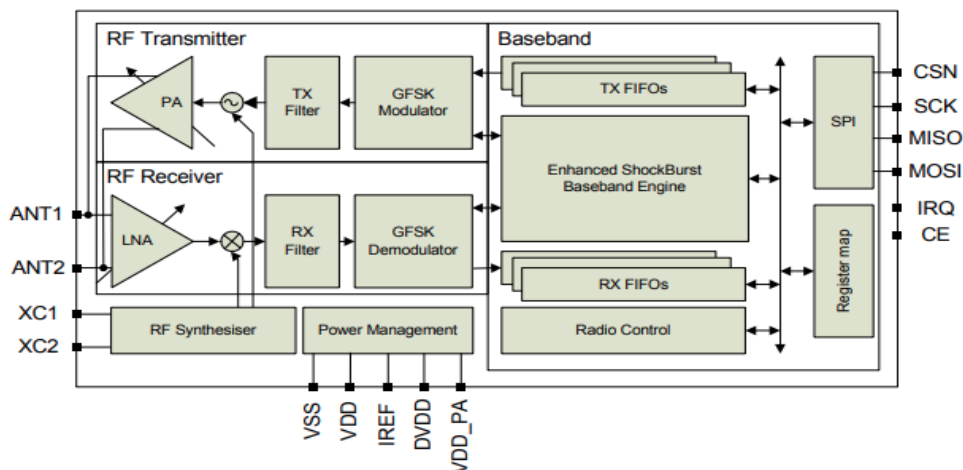
Obr. 24 ESP8266 WI-Fi modul s integrovanou anténou.

4.2. Modul nRF24L01+PA/LNA

Modul nRF24L01+PA/LNA je jedno čipový transceiver (dokáže pracovať ako vysielateľ aj ako prijímač) vhodný pre bezdrôtové aplikácie s extrémne malým výkonom. Je dizajnový aby pracoval v celosvetovo používanom pásme ISM 2,4 Ghz. Práca s nim je veľmi jednoduchá keďže nám stačí kompatibilný mikrokontrolér ako napr. Arduino UNO alebo Raspberry Pi. Modul pracuje a je nastaviteľný pomocou Serial Peripheral Interface (SPI) pinov (pri Arduino UNO sú to piny 13-SCK, 12-MISO, 11- MOSI a 10- SS). Je používaný integrovaný pásmový protokol (Enhanced ShockBurst™) ktorý je založený na packetovej komunikácii a podporuje viacero módov, od manuálnej prevádzky po pokročilú autonómnu prevádzku protokolu. Modul používa GFSK moduláciu ku ktorej sme sa už vyjadrili v teoretickej časti práce. Samotný modul má veľa nastaviteľných parametrov. Dokážeme si vyberať medzi viacerými frekvenčnými kanálmi, výstupnými výkonmi a prenosovými rýchlosťami (250 Kb/s, 1 Mb/s, 2 Mb/s). Vysoká prenosová rýchlosť s možnosťou dvoch módov výkonovej úspornosti robí tento model veľmi vhodný pre extrémne nízko-výkonové zapojenia. Modul má 3,3 V napájací pin ale logické piny tolerujú aj napätie 5 V. Ak chceme pomocou tohto modulu prenášať dáta na najväčšie vzdialenosti je najlepšie použiť najnižšiu prenosovú rýchlosť keďže v tomto režime majú moduly najvyššiu citlivosť. SPI Bus používa koncept master a slave kde vo väčšine prípadov je Arduino master a modul nRF24L01+PA/LNA slave. [11]

Tab. 3 Špecifikácie modulu NRF24L01+PA/LNA.

Frekvenčný rozsah	2,4 GHz ISM pásmo
Maximálna rýchlosť prenosu	2 Mb/s
Modulačný formát	GFSK
Maximálny výstupný výkon	0 dBm
Pracovné napájacie napätie	1,9 V do 3,6 V
Maximálny pracovný prúd	13,5 mA
Minimálny prúd (stand by mód)	26 μ A
Logické inputy	tolerujú 5 V
Prenosový dosah	Do 1000 m
Maximálna citlivosť	-94 dBm
Cena	4,70 € (120 CZK)



Obr. 25 Bloková schéma modulu nRF24L01+.

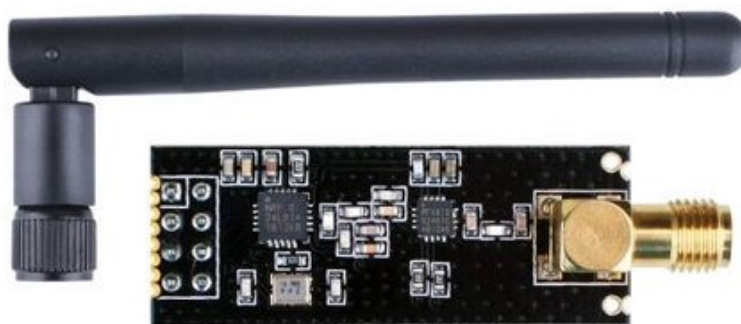
4.2.1. Typy modulu nRF24L01+

Existujú dve najčastejšie používané typy tohto modulu. Modul nRF24L01+ je kompaktnější keďže používa integrovanú anténu čo samozrejme znižuje možný dosah ktorý bude znížený na 100+ metrov na otvorenom priestranstve a vo vnútorných priestoroch bude tento dosah ešte viac znížený.



Obr. 26 Bezdrôtový modul nRF24L01+ .

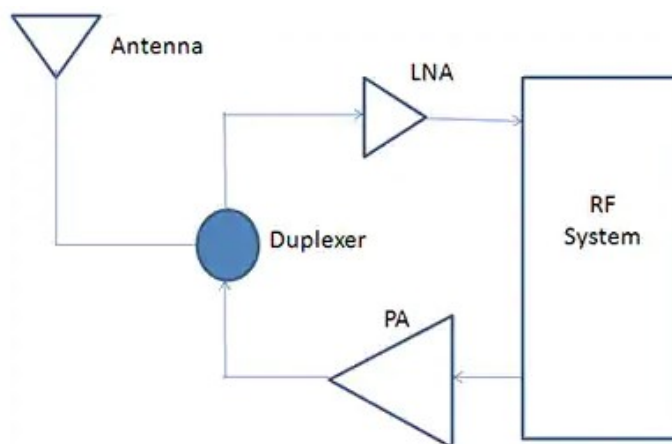
Modul nRF24L01+PA/LNA ktorý budeme používať my prichádza s možnosťou pripojenia externej antény ktorá rázne zvyšuje možný dosah prenosu. Pritom ale hlavným prínosom tohto modulu je že prichádza s špeciálnym RFX2401C čipom ktorý integruje PA, LNA a vysieláčovo-prijímací prepínací obvod. Pomocou antény a tohto čipu dokážeme zvýšiť dosah modulu až na 1000 m.



Obr. 27 Bezdrôtový modul nRF24L01+PA/LNA.

PA nám značí Power Amplifier (výkonový zosilňovač) ktorého úlohou je zosilnenie vysielaného výkonu z modulu.

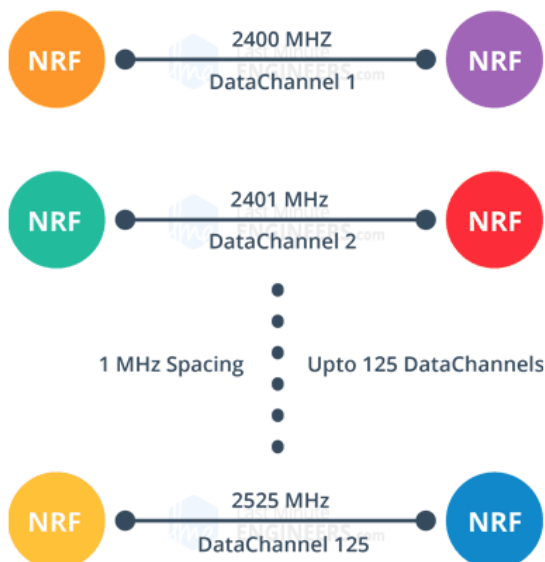
LNA značí Low-Noise Amplifier (nízkošumový zosilňovač) a jeho úlohou je zosilňovať extrémne nízky a neistý signál prichádzajúci z antény (zväčša mikrovolyty) a zosilniť ho na použiteľnú hodnotu. Pre oddelenie vysielacej časti od prijímacej je používaný duplexer. [14]



Obr. 28 Bloková schéma PA/LNA.

4.2.2. Frekvencia kanálu

Modul nRF24L01+PA/LNA vysiela a prijíma dáta na určitých frekvenciách nazývaných kanálmi. Aby spolu dve moduly mohli komunikovať musia byť na rovnakom kanáli. Tento kanál by mohla byť ktorákoľvek frekvencia z ISM pásma 2,4 GHz (2,400 – 2,525 GHz). Každý kanál okupuje pásmovú šírku okolo 1 Mhz čo znamená že v danom ISM pásme existuje 125 možných kanálov s 1 Mhz rozdielom.



Obr. 29 Komunikácia modulov v rôznych kanáloch.

Keďže náš modul má tri možnosti prenosovej rýchlosti je dôležité podotknúť že pri rýchlosti 250 Kb/s a 1 Mb/s je šírka kanálu 1 MHz ale pri rýchlosti 2 Mb/s je šírka kanálu už 2 MHz. Takže v móde s 2 Mb/s pri používaní viacero modulov je potrebné používať kanály s rozdielom 2 MHz aby neprišlo k prekrytiu pásiem. Frekvencia nášho kanálu je daná nasledujúcou rovnicou:

$$F_k = 2400 + k$$

Kde k je zvolený kanál a výsledok bude v MHz. Takže ak vyberieme kanál 105 tak budeme pracovať na frekvencii 2,505 GHz.[11,14]

4.2.3. Enhanced ShockBurst Protocol

NRF24L01+PA/LNA modul používa packetovú štruktúru známu ako ESP (Enhanced ShockBurst Protocol). Táto packetová štruktúra môže byť rozložená na 5 rôznych častí.

Preamble 1 byte	Address 3-5 byte	Packet Control Field 9 bit	Payload 0 - 32 byte	CRC 1-2 byte
-----------------	------------------	----------------------------	---------------------	--------------

Obr. 30 Rozloženie packetu Enhanced ShockBurst

Originálna ShockBurst štruktúra obsahovala iba Preamble, Address, Payload a CRC (cyclic redundancy check). Vylepšená štruktúra Enhanced ShockBurst Protocol priniesla vylepšenú funkcionality pre komunikáciu tým že zaviedla PCF (Packet Control Field). Táto nová štruktúra nám dovoľuje vytvárať premenné veľkosti payloadu s veľkosťami od 1 do 32 bytov. Tiež to nadeľuje každému packetu tzv. packet ID čo dovoľuje prijímaciemu modulu určiť či je správa nová alebo bola už vysiellaná predtým a tak môže byť ignorovaná. Každá správa dokáže tiež poslať žiadosť o ACK (acknowledgement - potvrdenie) keď je prijímaná modulom.[11,14]

4.2.4. Automatické spracovanie packetov

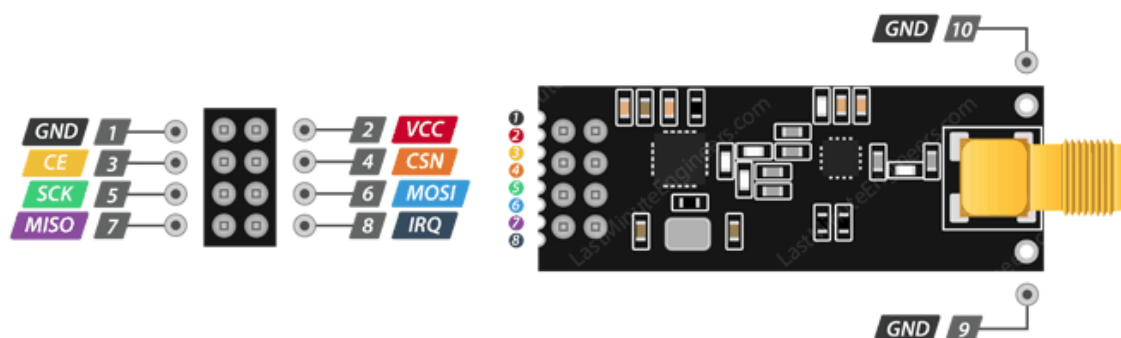
Pomocou troch scenárií si vieme trochu lepšie vysvetliť ako funguje komunikácia medzi dvoma NRF24L01+ modulmy.

Transakcia s potvrdením a prerušením – V tomto prípade prichádza k správne prenosu dát. Vysielač začne komunikáciu tým že pošle dátový packet príjmaču. Potom ako je celý packet prenesený počká asi 130 μ s a príjmač pošle ACK packet naspäť vysielaču. Keď vysielač prijme ACK packet vytvorí tak prerušovací (IRQ) signál aby indikoval že sú dostupné nové data.

Transakcia so ztrátou data packetu - V tomto prípade neprichádza k správne prenosu dát keďže dáta budú prenesené iba po opakovanom vyslaní. Vysielač pošle packet a čaká dokým mu príde naspäť ACK packet. ACK packet ale nepríde lebo príjmač neobdržal dátový packet a tak bude po stanovenej dĺžke čakania dátový packet znova odoslaný. Tento proces sa bude opakovať dokým vysielaču nepríde ACK packet ktorý potvrdí že príjmač dátový packet obdržal. Ak ACK packet dorazí tak vygeneruje IRQ signál ktorý bude indikovať že sú dostupné nové dáta.

Transakcia so ztrátou ACK packetu – V tomto prípade je znova potrebné opätovné prenesenie dátového packetu kvôli strate ACK packetu. Keďže, sice v tomto prípade prišlo k doručeniu dátového packetu, nikdy neprišlo k doručeniu ACK packetu čo znamená že vysielač si myslí že dátový packet nikdy príjmač neobdržal. A tak prebehne opakované odoslanie dátového packetu a ak príjmač obdrží dátový packet s takým istým packetovým ID ako mal predchádzajúci packet tak ho odstráni a pošle ACK packet znova. [14]

4.2.5. Pinout modulu nRF24L01+PA/LNA



Obr. 31 Pinout modulu nRF24L01+PA/LNA.

GND (Ground)- Pin zeme. Často je označený rozdielnym obalom aby pomáhal s rozlišovaním pinov.

VCC - Pin napájania 1,9 - 3,6 V. Pripájame na 3,3 V pin Arduina.

CE (chip enable) - Rozhoduje o móde modulu. Buď dá modul do vysielacieho alebo prijímacieho režimu.

CSN (Chip select not) – Je pin ktorý je normálne držaný na logickej 1. Ak padne na log. 0 modul začne počúvať na svojich SPI pinoch pre dáta a spracuje ich podľa potreby.

SCK (Serial clock) – Prijíma hodinové pulzy od SPI bus mastera.

MOSI (Master Out Slave In) – SPI vstup pre nRF24L01+PA/LNA

MISO (Master In Slave Out) – SPI výstup pre nRF24L01+PA/LNA

IRQ – Je pin prerušenia a môže upozorňovať mastera na dostupnosť nových dát.

4.2.6. Možné módy práce

Modul je možné nastaviť do piatich módov:

Power down mode - modul je deaktivovaný a používa minimálny prúd. Všetky hodnoty registrov a SPI zostávajú aktívne čo dovoľuje nastavenie, uploadovanie a downloadovanie dátových registrov.

Standby-I mode – použitie tohto módu minimalizuje priemernú hodnotu použitého prúdu pričom udržiava krátke rýchlosti zapnutia aktívnych módov RX a TX. V tomto móde pracuje iba časť kryštálového oscilátoru.

Standby-II mode – používa vyšší prúd a viac častí ako Standby I. Pri oboch Standby módoch sú hodnoty na registroch a SPI aktivované.

RX mode - V tomto móde je transceiver nastavený ako prijímač. Prijímaný signál je v tomto móde demodulovaný a poslaný pre ďalšie spracovanie.

TX mode – Je použitý v prípade že chceme transceiver používať ako vysieláč.[11]

4.2.7. Zapojenie a programovanie modulu nRF24L01+PA/LNA

Prepojenie a komunikácia medzi Arduino a nRF24L01+PA/LNA je jednoduchá keďže modul bol vytvorený tak aby vedel spolupracovať s väčšinou mikropočítačov ako je Arduino. Pokiaľ správne prevedieme zapojenie pinov medzi arduinom a modulom, teda VCC na 3,3 V, GND na GND arduina, CE a CSN na ktorékoľvek digitálne piny a SPI piny na príslušné SPI piny arduina tak môžeme s prenosom začať. Samozrejme toto zapojenie musíme uskutočniť na prijímači aj vysieláči.

Pre zľahčenie programovania používame knihovne ako napr. RF24 ktorá je už trochu zastaraná ale stále slúži dobre pre začiatočníkov aj pokročilých. Tiež môžeme používať knihovnu Radiohead ktorú dokážeme používať s rôznymi vysokofrekvenčnými modulmi a je možné že program vytvorený pre modul NRF24L01+PA/LNA dokážeme s menšími zmenami použiť na veľkom množstve iných modulov.

4.2.8. Aplikácie nRF24L01+ alebo nRF24L01+PA/LNA

Tento modul sa dá využívať na rôzne použitia z nich najčastejšie sú:

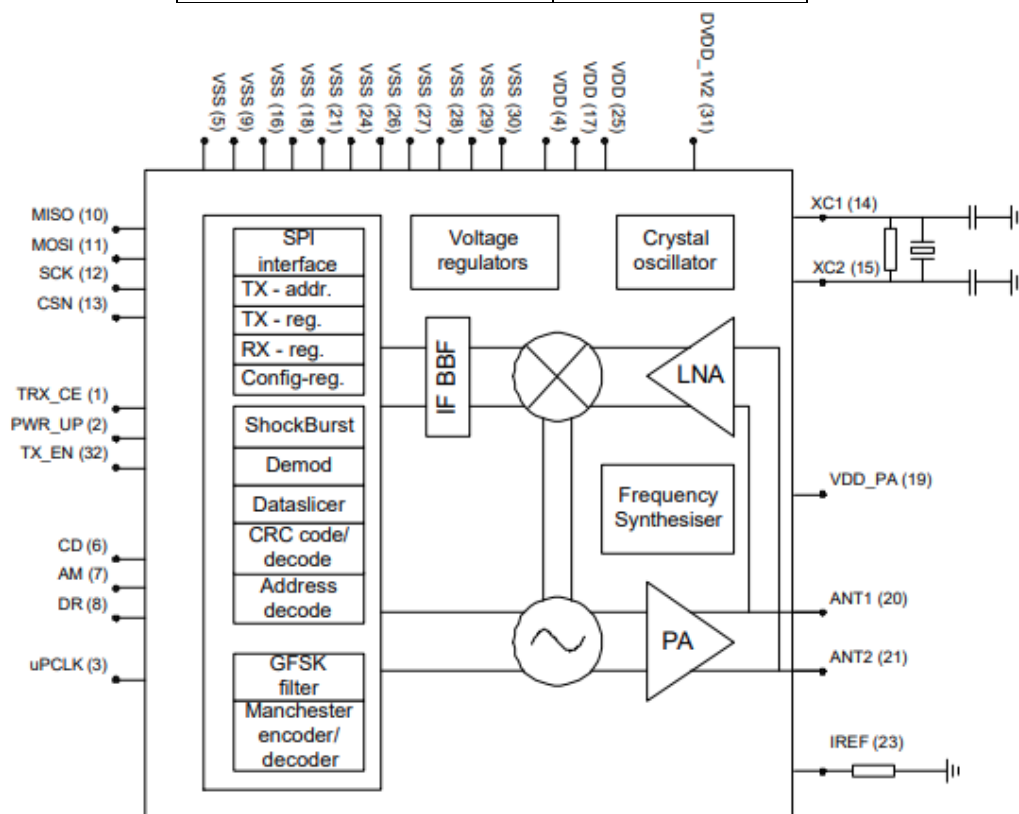
- Bezdrôtové počítačové periférie.
- Počítačové myši, klávesnice a diaľkové ovládače.
- VoIP slúchadlá
- Ovládače herných konzol
- Domáca a komerčná automatizácia
- Športové hodinky
- Siete snímačov s veľmi nízkym výkonom
- Hračky
- Zariadenia na sledovanie majetku

4.3. Modul nRF905

Modul nRF905 je jedno čipový rádiový transceiver pre ISM pásma 433/568/915 MHz. Modul sa skladá z plne integrovaného frekvenčného syntetizátora, prijímača s demodulátorom a výkonovým zosilňovačom, kryštálového oscilátora a vysielača s modulátorom. Modul tiež obsahuje ShockBurst protokol ktorý sa automaticky stará o preamble a CRC časti prenosu dátových packetov. Dokážeme ho jednoducho naprogramovať pomocou SPI prepojenia. Má veľa rôznych možností výstupného výkonu (10 dBm, 6 dBm, -2 dBm, -10 dBm). Je vybavený výkonovým zosilňovačom na vysielačnej strane a nízkošumovým zosilňovačom na strane prijímača podobne ako modul nRF24L01+PA/LNA. Moduláciu uskutočňuje pomocou GFSK metódy. Rýchlosť prenosu je celkom nízka pri 50 Kb/s ale tým dosiahneme vyššej maximálnej citlivosti a tým možnosti prenosu na väčšie vzdialenosti.[12]

Tab. 4 Špecifikácie modulu nRF905.

Frekvenčný rozsah	433, 868, 915 MHz
Maximálna rýchlosť prenosu	50 Kb/s
Modulačný formát	GFSK
Maximálny výstupný výkon	10 dBm
Pracovné napájacie napätie	1,9 - 3,6 V
Maximálny pracovný prúd	30 mA pri 10dBm
Minimálny prúd	2,5 μ A
Logické inputy	3,3 V
Prenosový dosah	Do 1000 m
Maximálna citlivosť	-100 dBm
cena	4,60 € (119 CZK)



Obr. 32 Bloková schéma nRF905.



Obr. 33 Modul nRF905.

4.3.1. Možné módy práce

Sú možné štyri módy práce modulu.

Power down and SPI programming - modul je deaktivovaný a používa minimálny prúd. Keď modul vstupy do tohto módu prichádza k veľkému zníženiu spotreby a teda aj životnosti batérií.

Standby mode - použitie tohto módu minimalizuje priemernú hodnotu použitého prúdu pričom udržiava krátke rýchlosti zapnutia ShockBurst Tx a ShockBurst Rx. V tomto móde pracuje iba časť kryštálového oscilátoru.

Typical ShockBurst RX mode – V tomto móde je transceiver nastavený ako prijímač.

Typical ShockBurst TX mode - Je použitý v prípade že chceme transceiver používať ako vysielateľ.

4.3.2. Frekvencie kanálov

V frekvenčnom pásme 433 MHz kanály tohto modulu pracujú v 100 KHz frekvenčných pásmach a je ich celkovo 511. Tu vieme nastaviť kanál na frekvencie medzi 422,4 MHz a 473,5 MHz. Použiteľných je vždy iba 170 kanálov keďže susedné kanály sa prekrývajú.

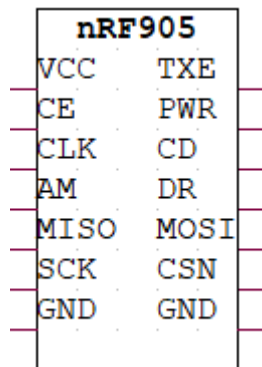
4.3.3. Shockburst protokol

Prenosová rýchlosť je 100 Kb/s ale dáta sú kódované typom Manchester čo znamená že rýchlosť bude 50 kb/s. Shock Burst protokol pridáva Preamble a CRC bity k packetu. Na rozdiel od enhanced ShockBurst protokolu tu nemáme Packet control field (PCF). CRC je používané na zistenie chýb v prijímaných dátach. Preamble je bitová sekvencia ktorá synchronizuje demodulátor prijímaču k prichádzajúcemu prúdu bitov. Tento modul tiež používa rovnaký systém automatického spracovania packetov ako modul nRF24L01+PA/LNA.[12]

Preamble	Address	Payload	CRC
10 bits	1 or 4 bytes	1 – 32 bytes	0 – 2 bytes

Obr. 34 ShockBurst Protokol packet.

4.3.4. Pinout nRF905



Obr. 35 Pinout modulu nRF905.

VCC - Napájanie 1,9 – 3,6 V.

TXE (Transmit/Receive enable) - Výber RF módu modulu. Vysielač = HIGH, Prijímač = LOW

CE (Chip enable) – Zvolenie módu. Stand by = HIGH, RX/TX = LOW

PWR (Power up chip) - Povoľuje zapnutie operačných módov iných ako power down.

CLK (Clock) - Výstupné hodiny.

CD (Carrier detect) – Dovoľuje vyhnúť sa kolízii medzi packetmi z rôznych vysielačov pracujúcich na tej istej frekvencii.

AM (Address Match) – Upozorňuje že nRF905 prijíma dáta predtým ako je DR nastavený na HIGH.

DR (Data ready) - Pripravené na prijímanie a vysielanie.

MISO (Master Out Slave In) – SPI výstup

MOSI (Master Out Slave In) – SPI vstup

SCK (SPI clock) - Prijíma hodinové pulzy od SPI bus mastera.

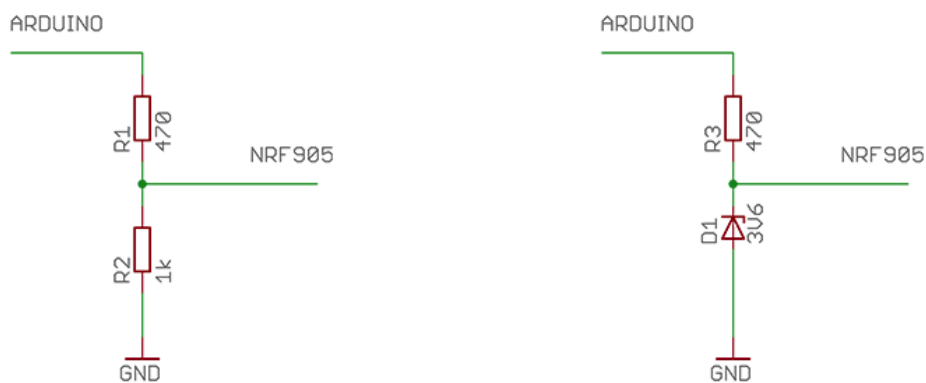
CSN (Chip select not) - Je pin ktorý je normálne držaný na logickej 1. Ak padne na log. 0 modul začne počúvať na svojich SPI pinoch pre dáta a spracuje ich podľa potreby.

GND (Ground) – Pin zeme.

4.3.5. Zapojenie a programovanie modulu nRF905

Tento modul potrebuje na funkciu použiť najviac pinov z dostupných možností ale vďaka veľa rôznym systémom ktoré spolupracujú je tento modul najstabilnejší a veľmi spoľahlivý. Pri komplikovanejších použitíach je možné že bude potrebné použiť dosky s viacerými konektormi ako je napr. Arduino Mega. Jeden z väčších problémov je ten že logické piny prijímajú iba napätie okolo 3,3 V čo znamená že na nich nemôžeme priamo pripojiť digitálne piny Arduina ktoré sú 5V. Tu nám ale stačí že vytvoríme deliče napätia alebo zapojíme zenerové diódy pre všetky piny ktoré to potrebujú (piny TXE,CE,PWR,MOSI,SCK,CSN potrebujú 3,3 V). Piny CD,AM,DR a MISO nepotrebujú deliče napätia.

Pre programovanie sa dá použiť knihovňa nRF905 Radio library. Táto knihovňa je jednoduchá a flexibilná. Tiež je možné použiť knihovňu Radiohead nRF905 ktorá používa veľa spoločných funkcií s ostatnými Radiohead knihovňami.



Obr. 36 Zapojenie s deličom napätia (vľavo) a s zenerovou diódou (vpravo).

4.3.6. Aplikácie nRF905

Tento modul sa dá využívať na rôzne použitia z nich najčastejšie sú:

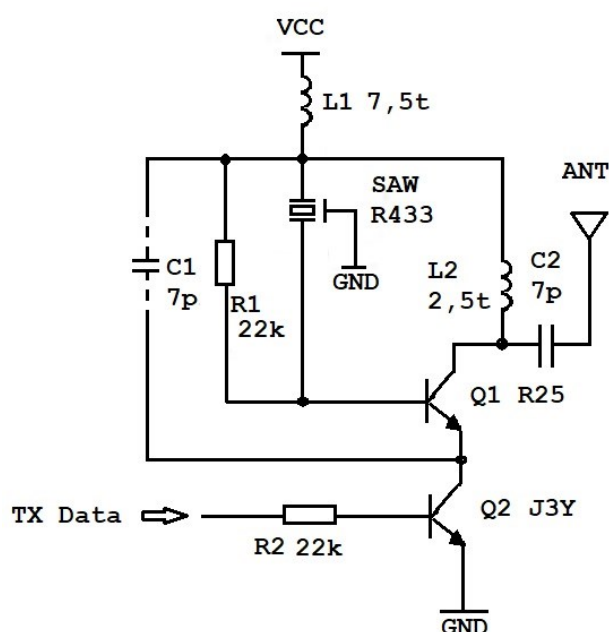
- Bezpečnostné systémy a alarmy
- Automatizácia domácností
- Rôzne diaľkové ovládania
- Senzorické systémy
- Hračky
- Telemetria
- Prenos digitálnych obrázkov
- Bezdrôtové meranie

4.4. Moduly vysielateľ FS1000A a prijímač MX-RM-5V

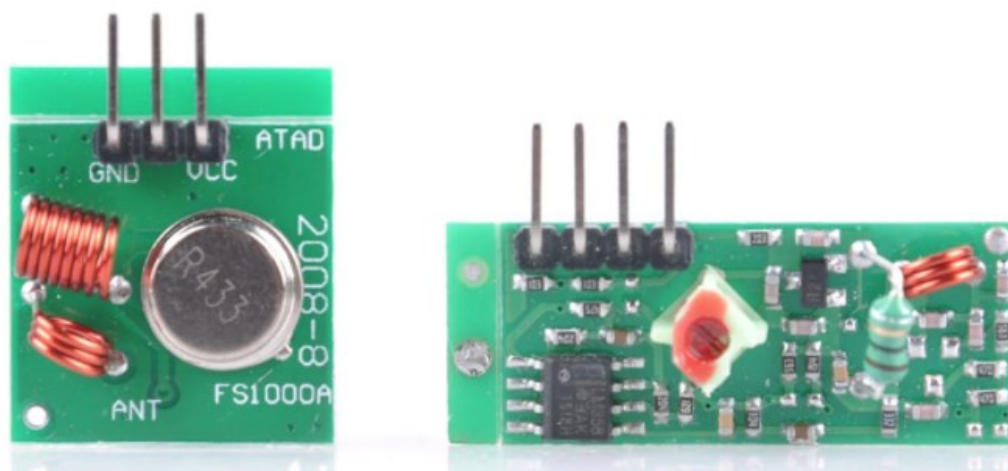
Tieto moduly sú z troch vybratých možností najjednoduchšie. Sú extrémne lacné a kompaktné. Pracujú na frekvencii 433 MHz.

4.4.1. Modul FS1000A

Modul FS1000A je vysielateľ ktorý pracuje veľmi jednoducho a používa jednoduché zapojenie. Používa SAW rezonátor ktorý je nastavený na 433 MHz, má zopár spínacích tranzistorov a pasívnych súčiastok. Ak na data pin modulu dáme log. 1 bude vysielateľ nosnú frekvenciu a ak tam je log. 0 tak nevysielateľ nič. To znamená že tento modul používa ASK moduláciu s ktorou sme sa už bližšie zoznámili v teoretickom rozbere. Pri tomto vysielateľi vstupné napätie môžeme meniť v rozsahu 3 až 12 V pričom pri 12 V máme najväčší dosah modulu. My tento modul budeme napájať 9 V batériou. Tieto moduly používajú všetky ten istý frekvenčný kanál.[13]



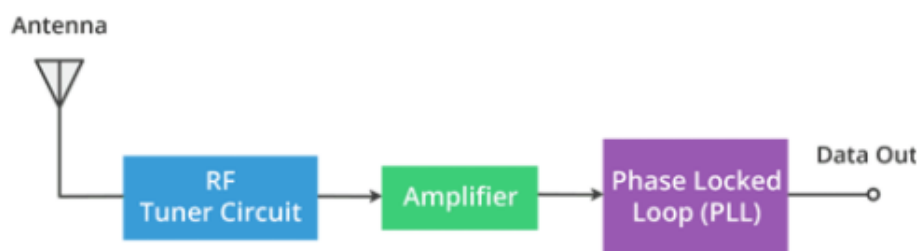
Obr. 37 Schéma zapojenia FS1000A.



Obr. 38 Modul FS1000A (vľavo) a modul MX-RM-5V (vpravo).

4.4.2. Modul MX-RM-5V

Toto je prijímačový modul. Aj keď vyzerá komplexne, je stále jednoduchý. Skladá sa z rezonančného LC obvodu ktorý filtruje preč frekvencie ktoré nepotrebujeme a prepúšťa rezonančnú frekvenciu. Vyfiltrovaný signál zosilníme pomocou operačných zosilňovačov. Zosilnení signál ďalej vedieme do PLL (Phase Lock Loop) ktorý umožňuje dekodéru zamknúť sa na prúd digitálnych bitov čo nám poskytuje lepší dekódovaný výstup a imunitu proti šumu. Prenosová rýchlosť je veľmi nízka na 4 Kb/s ale senzitivita prijímača je veľmi vysoká čo aj pre taký jednoduchý systém dovoľuje možnosť dosahu celkom veľkých vzdialeností.[13]



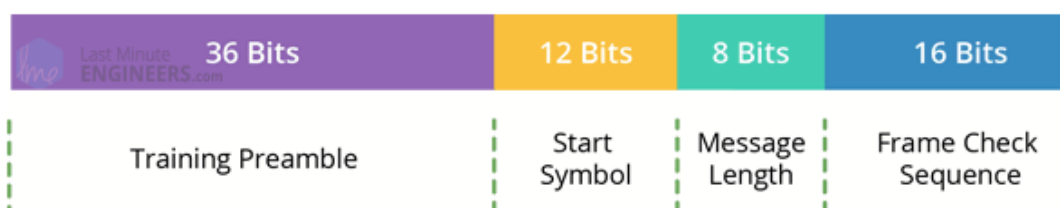
Obr. 39 Bloková schéma modulu XM-RM-5V.

Tab. 5 Špecifikácie modulov FS1000A a XM-RM-5V.

	Vysielač	Prijímač
Frekvenčný rozsah	433 MHz	433 MHz
Maximálna rýchlosť prenosu	4 Kb/s	4 Kb/s
Modulačný formát	ASK	ASK
Maximálny výstupný výkon	16 dBm	-
Pracovné napájacie napätie	3-12 V	5 V
Maximálny pracovný prúd	20 - 28 mA	4 - 13 mA
Minimálny prúd	>1 mA	>1 mA
Logické piny	5 V	5 V
Prenosový dosah	20-200 m	20-200 m
Maximálna senzitivita	-	-105 dBm
cena	1,50 € (39 CZK)	

4.4.3. Knihovňa Radiohed – ASK

Keďže tomuto modulu chýba veľa systémov ktoré ostatné moduly majú zabudované je potrebné naše dáta formátovať. S tým nám pomôže knihovňa Radiohead - ASK určená pre takéto moduly. Táto knihovňa zabalí dáta do packetu ktorý sa dá použiť lepšie.



Obr. 40 Rozloženie packetu Radiohead – ASK.

Na začiatku každého packetu je posielaný 36 bitový Training Preamble ktorý je použitý na nastavenie prijímača pred obdržaním payloadu. Ďalej nasleduje Start symbol po ktorom nasledujú naše posielané dáta (payload). Na konci máme CRC check ktorý bude prekalkulovaný knihovňou Radiohead na prijímačovom konci a potom vyhodnotení. Ak CRC check neuspeje packet bude vymazaný.[16]

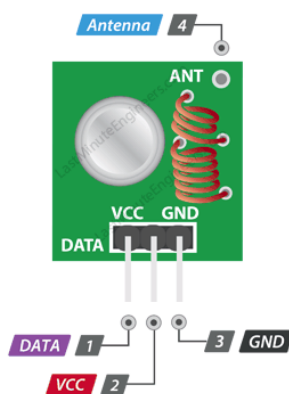
4.4.4. Anténa

Predchádzajúce moduly mali externé antény od výrobcov. Moduly FS1000A a MX-RM-5V nemajú externú anténu a preto im budeme musieť urobiť vlastnú. Ako anténu použijeme 17,3 centimetrové kúsky medených drôtov ktoré prispájame na obidve moduly.



Obr. 41 Moduly FS1000A a MX-RM-5V s anténami.

4.4.5. Pinout FS1000A



Obr. 42 Pinout modulu FS1000A.

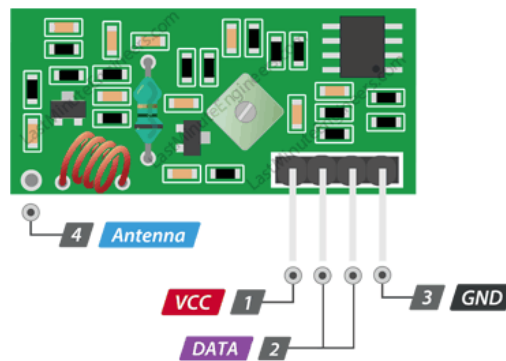
DATA – Pin ktorý prijíma digitálne dáta pripravené pre vysielanie.

VCC- Napájanie 3-12 V.

GND – Pin zeme.

Antenna – Pin pre externú anténu. Na toto miesto budeme pripájať náš 17,3 cm medený drôt.

4.4.6. Pinout XM-RM-5V



Obr. 43 Pinout modulu MX-RM-5V.

DATA – Z pinu vieme čítať digitálne dáta prijaté z vysielajú. Data piny sú prepojené takže môžeme použiť ktorýkoľvek.

VCC- Napájanie 5 V.

GND – Pin zeme.

Antenna – Pin pre externú anténu. Na toto miesto budeme pripájať náš 17,3 cm medený drôt.

4.4.7. Zapojenie a programovanie modulov

Zapojenie týchto modulov je extrémne jednoduché. Pri oboch moduloch nám stačí zapojiť napájanie, zem a jeden digitálny pin do Arduino. Kvôli tomuto ľahkému použitiu sú tieto moduly veľmi obľúbené a často používané pre uskutočňovanie prenosu dát na kratšie vzdialenosti.

Pre zjednodušenie programovania použijeme knihovňu Radiohead-ASK, tiež by sme mohli použiť exkluzívnu a veľmi jednoduchú knihovňu HCWireless.

4.4.8. Aplikácie modulu FS1000A a MX-RM-5V

Tieto moduly sa dá využívať na rôzne použitia, z nich najčastejšie sú:

- Bezpečnostné systémy
- Hračky
- Diaľkové ovládanie
- Jednoduché senzorické systémy
- Kompaktné vysokofrekvenčné prenosové systémy

4.5. Porovnanie vlastností modulov

Tab. 6 Porovnanie vlastností všetkých troch modulov.

	nRF24L01+PA/LNA	nRF905	Vysielač- FS1000A	Prijímač- MX-RM-5V
Frekvenčný rozsah	2,4 GHz ISM pásmo	433, 868, 915 MHz	433 MHz	433 MHz
Maximálna rýchlosť prenosu	2 Mb/s	100 Kb/s	10 Kb/s	10 Kb/s
Modulačný formát	GFSK	GFSK	ASK	ASK
Maximálny výstupný výkon	0 dBm	10 dBm	16 dBm	-
Pracovné napájacie napätie	1,9 - 3,6 V	1,9 - 3,6 V	3-12 V	5 V
Maximálny pracovný prúd	13,5 mA pri 0 dBm	30 mA pri 10dBm	20 - 28 mA	4 - 13 mA
Minimálny prúd	26 µA	2,5 µA	>1 mA	>1 mA
Logické inputy	tolerujú 5 V	3,3 V	5 V	5 V
Prenosový dosah	800+ m	1000 m	20-200 m	20-200 m
Maximálna senzitivita	-94 dBm	-100 dBm	-	-105 dBm
cena	4,70 € (121 CZK)	4,60 € (119 CZK)	1,50 € (39 CZK)	

Najvyššej prenosovej rýchlosti dosahujeme pri použití modulu nRF24L01+PA/LNA na ktorom vieme nastaviť tri možné rýchlosti pričom aj najnižšia z nich je viac ako dvojnásobne taká vysoká ako pri module nRF905. Zmena nastavenia rýchlosti na module nRF24L01+ nám dovoľuje tiež meniť citlivosť týchto modulov. Jednoduché moduly 433 MHz dosahujú najnižších rýchlostí čo ale nie je veľmi problém keďže tieto moduly sú používané zväčša na veľmi jednoduchý prenos.

Modul nRF24L01+ a modul nRF905 nám tiež dovoľujú meniť maximálny výstupný výkon pomocou PA a tým tiež meniť dosah modulov. Pri vyšších výkonoch tiež prichádza k zvýšeniu pracovného prúdu vysielača. Najvyšší výkon dosahujú 433 MHz moduly.

Napájacie napätie je pri moduloch nRF24L01+PA/LNA a nRF905 3,3 V pričom vysielač FS1000A môžeme napájať napätím od 3-12 V a tým výrazne meniť dosah tohto modulu.

Logické inputy ktoré tolerujú 5 V nám dokážu veľmi uľahčiť prácu s modulmi a preto je rozhodne jednoduchšie používať moduly ako nRF24L01+PA/LNA alebo jednoduché 433 MHz moduly. Potreba prevodu logickej 1 z 5V na 3,3 V nám komplikuje prácu s modulom nRF905 a tým spôsobuje väčšie množstvo možného rušenia alebo výskytu chýb.

Dosah modulov nRF24L01+PA/LNA a nRF905 je v otvorených priestranstvách písaný ako 1000 m. Tieto hodnoty budeme potvrdzovať v ďalšej časti práce. Pre jednoduché 433 Mhz moduly je tento dosah písaný do 200 m ale v tomto prípade záleží na anténe a napájaníu. Bez antény je prenos možný do 1 metra.

Ceny pre moduly nRF24L01+ a nRF905 sú veľmi podobné tak ako ich vlastnosti a použitie. Jednoduché moduly 433 MHz sú veľmi lacné ale kvôli tomu môžu byť veľmi nekvalitné a niekedy sa pokazia extrémne ľahko.

5. Meranie dosahu vybraných modulov

Pre potvrdenie hodnôt dosahu modulov sme uskutočnili veľmi jednoduché merania pre všetky moduly. Pre uskutočnenie merania bolo potrebné nájsť lokáciu kde je aspoň 1 km voľného priestranstva. Ako lokáciu merania sme vybrali otvorené priestranstvo bez vyvýšení alebo prekážok v teréne.



Obr. 44 Lokácia merania.

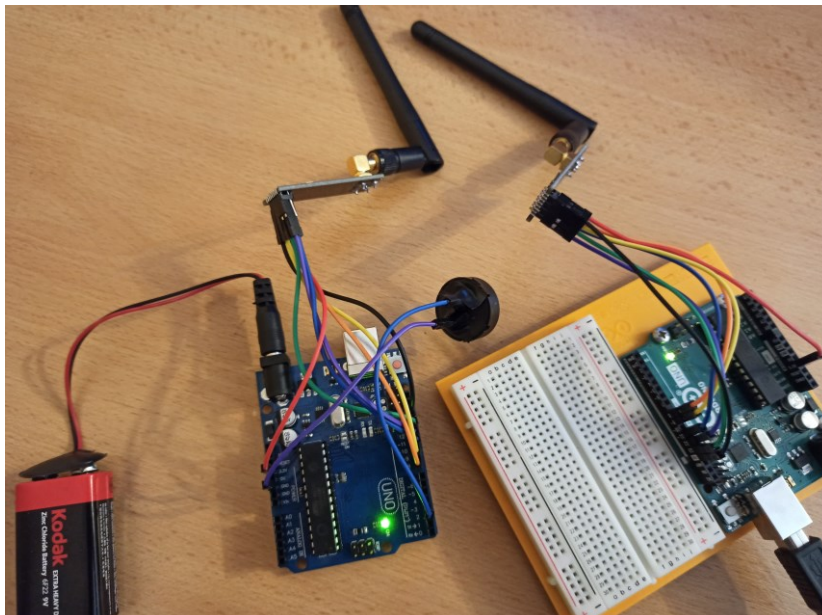


Obr. 45 Satelitné zobrazenie lokácie merania.

Pre všetky tri moduly sme vytvorili jednoduché programy ktoré budú vysielat' textovú správu ktorá ak bude správne poslaná prijímaciemu modulu, vytvorí na strane prijímaču pomocou piezo prvku zvukový signál ktorý sa bude opakovať každú sekundu a tým budeme bez sledovania obrazovky alebo podobného zariadenia vedieť či prichádza k prenosu alebo nie. Pre všetky moduly bude meranie doplnené schémou zapojenia vysieláča a prijímača, obrázkom reálneho zapojenia a programovou časťou pomocou ktorej bol uskutočnený prenos v meraní. Pre uskutočnenie merania bol použitý voľno dostupný mobilný software (GPS Distance meter) v ktorom si vieme za pomoci GPS nastaviť začiatočnú lokáciu a sledovať ako ďaleko sme sa od nej vzdialili. Presnosť tohto merania sa pohybuje okolo ± 3 metrov.

5.1. Meranie dosahu modulu nRF24L01+PA/LNA

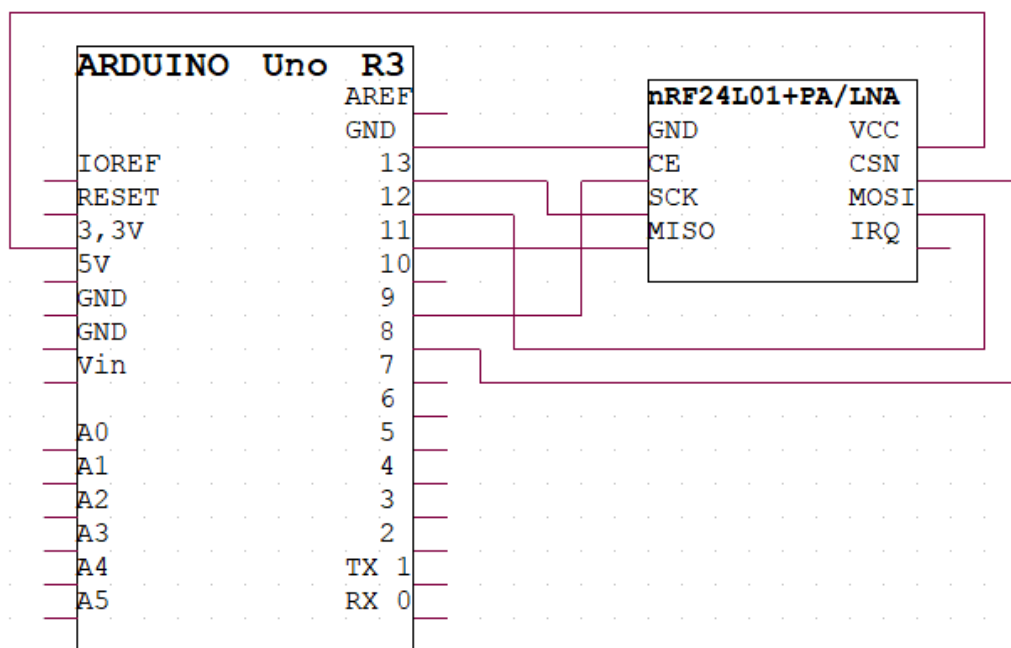
Zapojenie tohto merania bolo veľmi jednoduché keďže tieto moduly pracujú na logickej 1 pri 5 V. Obidve moduly, prijímač aj vysielač, boli cez Arduino UNO R3 napájané 9V batériou. Meranie bolo uskutočnené s tým že vysielač bol umiestnený 1,5 m vo výške a prijímačom sme sa pohybovali od vysielača priamo preč tiež vo výške okolo 1,5 m. Programy budú vysvetlené pomocou komentárov priamo v nich. V obidvoch programových častiach sme použili knihovňu RH24.



Obr. 46 Reálne zapojenie modulov nRF24L01+PA/LNA.

5.1.1. Zapojenie a programovanie vysielačovej časti

Vysielačová časť bola zapojená podľa nasledovnej schémy a prenos bol uskutočnený podľa programu na obr. 48.



Obr. 47 Schéma zapojenia vysielača nRF24L01+PA/LNA s Arduino UNO R3.

```

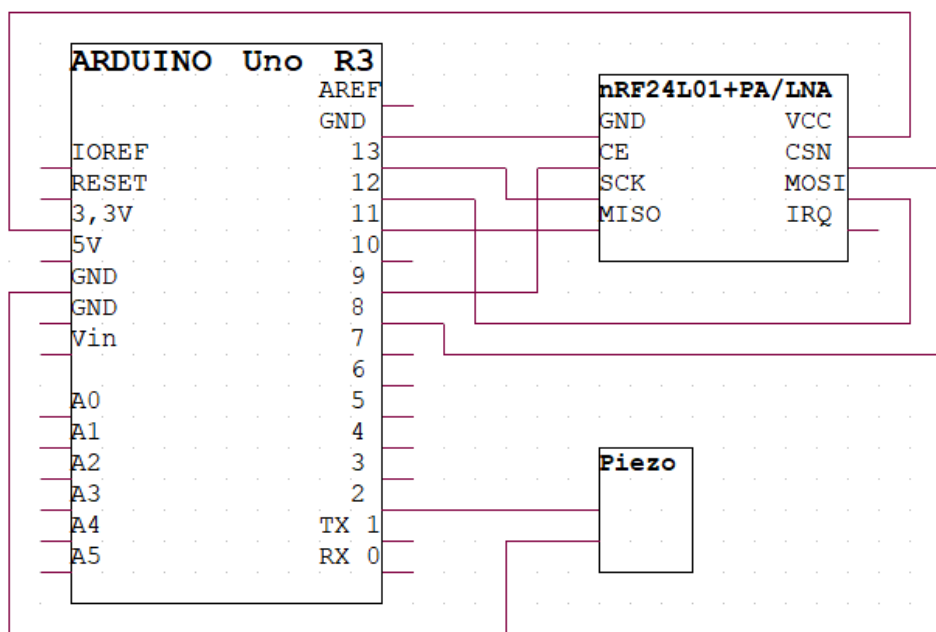
1 // Vloženie potrebných knihovien.
2 #include <SPI.h>
3 #include <nRF24L01.h>
4 #include <RF24.h>
5 // Vytvoríme objekt a nastavíme piny CE, CSN.
6 // Piny SPI sú automaticky priradené pinom 13,12 a 11.
7 RF24 radio(9, 8);
8 // Vytvoríme konštantu pre adresu komunikácie.
9 const byte adresa[6] = "00001";
10
11 void setup()
12 {
13 // Otvoríme prenos medzi modulmi a nastavíme parametre prenosu.
14 // Pre maximálny dosah chceme nastaviť úroveň výstupného výkonu na maximálnu.
15 // Rýchlosť nastavíme na minimálnu čím zvýšime citlivosť modulu.
16 radio.begin();
17 radio.openWritingPipe(adresa);
18 radio.setPALevel(RF24_PA_MAX);
19 radio.setDataRate(RF24_250KBPS);
20 // Nastavíme modul ako vysielateľ.
21 radio.stopListening();
22 }
23 void loop() {
24 // Vytvoríme premennú ktorú chceme poslať a pošleme ju.
25 const char text[] = "Test dosahu nRF24L01+PA/LNA";
26 radio.write(text, sizeof(text));
27 // Počkáme 1 sekundu a loop opakujeme znova.
28 delay(1000);}
29 }

```

Obr. 48 Programová časť vysieláča nRF24L01+PA/LNA.

5.1.2. Zapojenie a programovanie prijímačovej časti

Prijímačová časť bola zapojená podľa nasledovnej schémy a prenos bol uskutočnený podľa programu na obr. 50.



Obr. 49 Schéma zapojenia prijímača nRF24L01+PA/LNA s Arduinom UNO R3.

```

1 // Vloženie potrebných knižovien.
2 #include <SPI.h>
3 #include <nRF24L01.h>
4 #include <RF24.h>
5 // Vytvoríme objekt a nastavíme piny CE, CSN.
6 // Piny SPI sú automaticky priradené pinom 13,12 a 11.
7 RF24 radio(9, 8); // CE, CSN
8 // Vytvoríme konštantu pre adresu komunikácie a pinu piezo prvku.
9 const byte address[6] = "00001";
10 const int zvuk = 2;
11
12 void setup()
13 {
14 // Nastavíme pin piezo prvku ako výstupný.
15 pinMode (zvuk,OUTPUT);
16 // Otvoríme prenos medzi modulmi a nastavíme parametre prenosu.
17 // Pre maximálny teoretický dosah chceme nastaviť úroveň výstupného výkonu na maximálnu.
18 // Rýchlosť nastavíme na minimálnu čím zvýšime citlivosť modulu.
19 radio.begin();
20 radio.openReadingPipe(0, address);
21 radio.setPALevel(RF24_PA_MAX);
22 radio.setDataRate(RF24_250KBPS);
23 // Nastavíme modul ako prijímač.
24 radio.startListening();
25 }
26 void loop()
27 {
28 // Vytvoríme premennú do ktorej budeme ukladať prijaté dáta.
29 char text[32]="";
30 // Ak budeme prijímať dáta od vysielateľa tak ich uložíme do premennej text
31 // a ak sú tieto dáta správne tak pošleme na pin piezo prvku signál
32 // ktorý na ňom vytvorí zvuk po dobu 0,5 s.
33 if (radio.available()){
34     radio.read(&text, sizeof(text));
35     String Data = String(text);
36     if (Data == "Test dosahu nRF24L01+PA/LNA"){
37         tone (zvuk, 500);
38         delay(500);
39         noTone(zvuk);
40     }
41 }
42 }

```

Obr. 50 Programová časť prijímača nRF24L01+PA/LNA.

5.1.3. Výsledky merania dosahu modulu nRF24L01+PA/LNA

Úlohou merania bolo potvrdiť a zistiť maximálny možný dosah modulu. Celkovo sme uskutočnili tri merania.

Prvé meranie bolo uskutočnené v teréne kde prichádzalo k prerušeniu prenosu kvôli vyvýšeniu a zníženiu terénu a po 800 m bol medzi vysielačom a prijímačom vcelku hustý porast ktorý znemožnil prenos na väčšiu diaľku. Maximálny dosah bol tomto prípade 860 m.

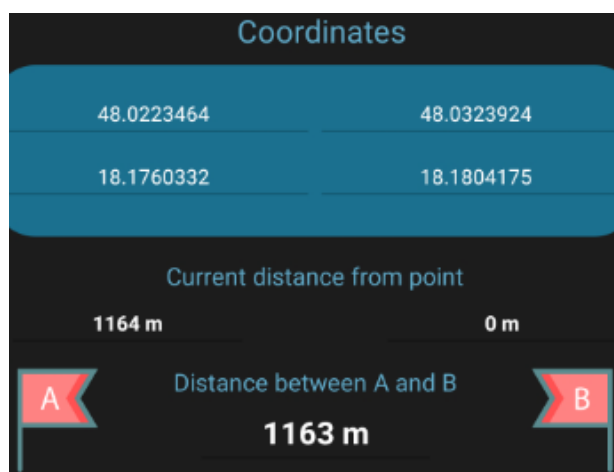
Druhé meranie bolo prevedené už v lokácii uvedenej vyššie v ktorej k takýmto problémom neprichádza. Moduly boli nastavené na maximálny výstupný výkon a najnižšiu prenosovú rýchlosť čo nám teoreticky dáva najväčší možný dosah. V tomto meraní bola najvyššia dosiahnutá vzdialenosť 1163 m po ktorej sme stratili signál a znova ho nenaviazali dokým sme sa nevrátili naspäť na vzdialenosť okolo 1150 m.

Tretie meranie bolo uskutočnené krátko po druhom meraní, rozdielom je ale že sa zvrstlo počasie a začalo husto pršať. V tomto meraní sme chceli overiť ako bude prenos ovplyvnený dažďom. Rastom hustoty dažďu klesala vzdialenosť prenosu ktorá sa nakoniec ustálila v okolí 987 m. Čo je veľmi dobré a dokazuje že prenos je viac ovplyvnený terennými prekážkami ako dažďom.

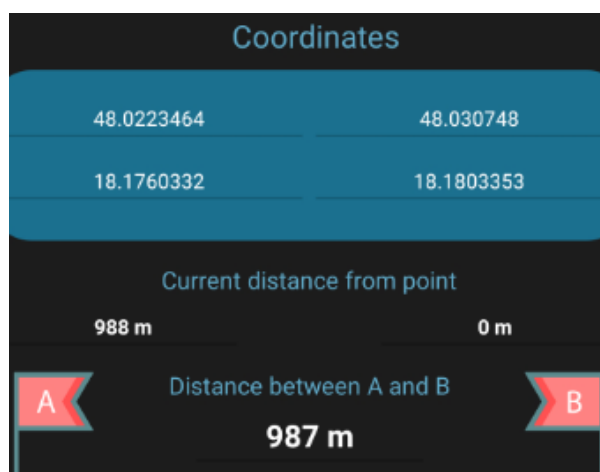
Celkovo tento modul dosiahol veľmi dobrých výsledkov za všetkých podmienok. Modul sme tiež merali v uzatvorených priestoroch a dosiahli sme veľmi dobrých výsledkov. Aj pri vysielaní z uzatvoreného priestoru sme boli schopný signál prijímať v celom dome a v jeho okolí. Pri umiestení prijímača za viacero domov sme ale signál stratili a znova nenaviazali až dokým sme sa nevrátili aspoň 100 metrov k vysielaču.

Tab. 7 Namerané hodnoty merania dosahu modulu nRF24L01+PA/LNA.

Meranie	Katalógová hodnota	Nameraná vzdialenosť
Otvorené priestranstvo	800+ m	1163
Otvorené priestranstvo + dážď	800+ m	987
Fyzická prekážka po 800 m	800+ m	860
Nastavené parametre: Rýchlosť prenosu 250 Kb/s, Výstupný výkon 0 dBm		



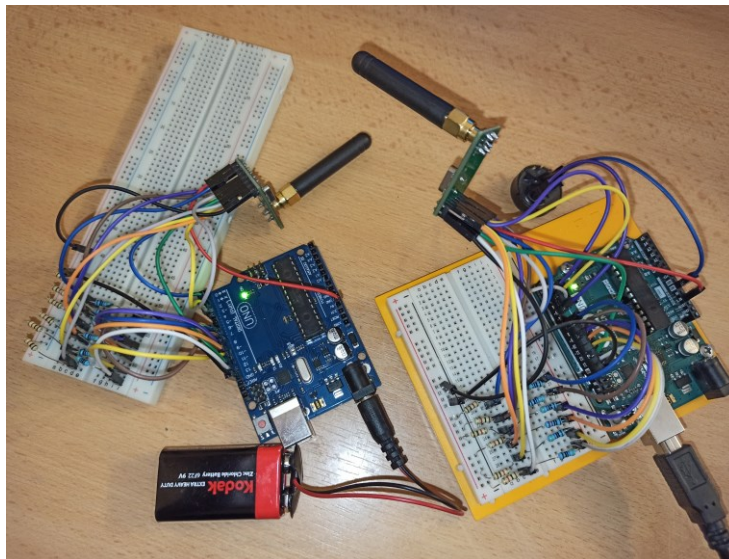
Obr. 51 Meranie v otvorenom priestranstve.



Obr. 52 Meranie v otvorenom priestranstve s dažďom.

5.2. Meranie dosahu modulu nRF905

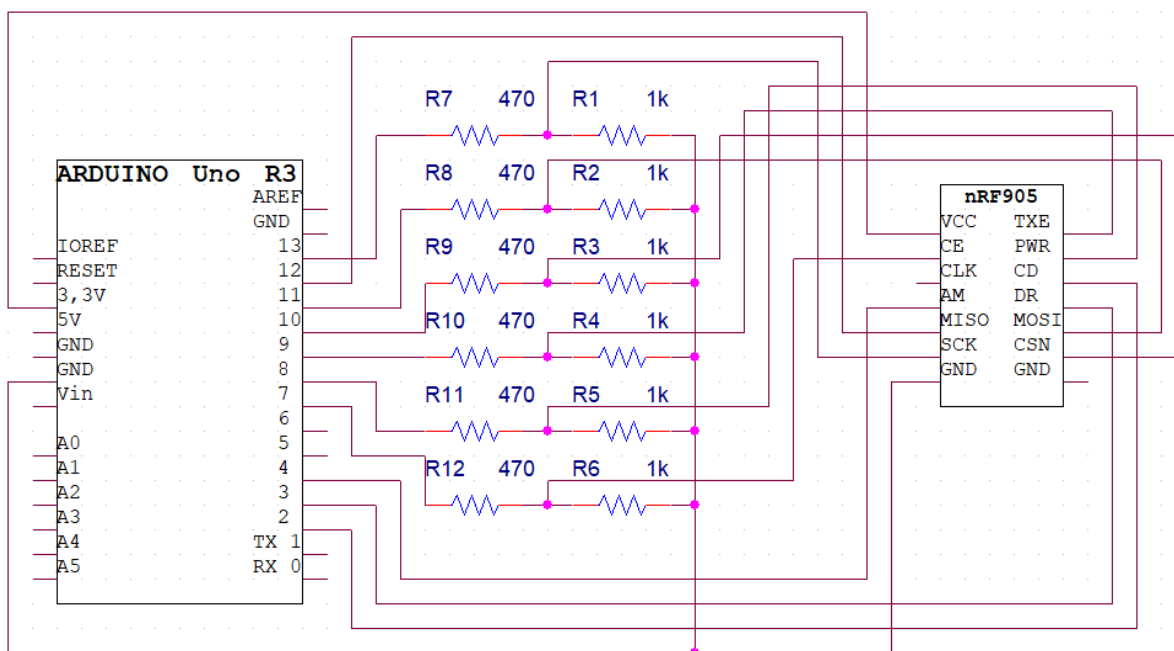
Toto meranie bolo zložitejšie ako predchádzajúce kvôli potrebe premeny logickej úrovne z 5 V na 3,3 V. Meranie bolo uskutočnené s tým že vysielateľ bol umiestnený 1,5 m vo výške a s prijímačom sme sa pohybovali od vysielateľa priamo preč tiež vo výške okolo 1,5 m. Merali sme pred meraním modulu nRF24L01+PA/LNA za podobných podmienok. Vysvetlenie programu bude uvedené v podobe komentárov v programovej časti.



Obr. 53 Reálne zapojenie modulov nRF905.

5.2.1. Zapojenie a programovanie vysielateľovej časti

Vysielateľová časť bola zapojená podľa nasledovnej schémy a prenos bol uskutočnený podľa programu na obr. 55.



Obr. 54 Schéma zapojenia vysielateľa nRF905 s Arduinom UNO R3.

```

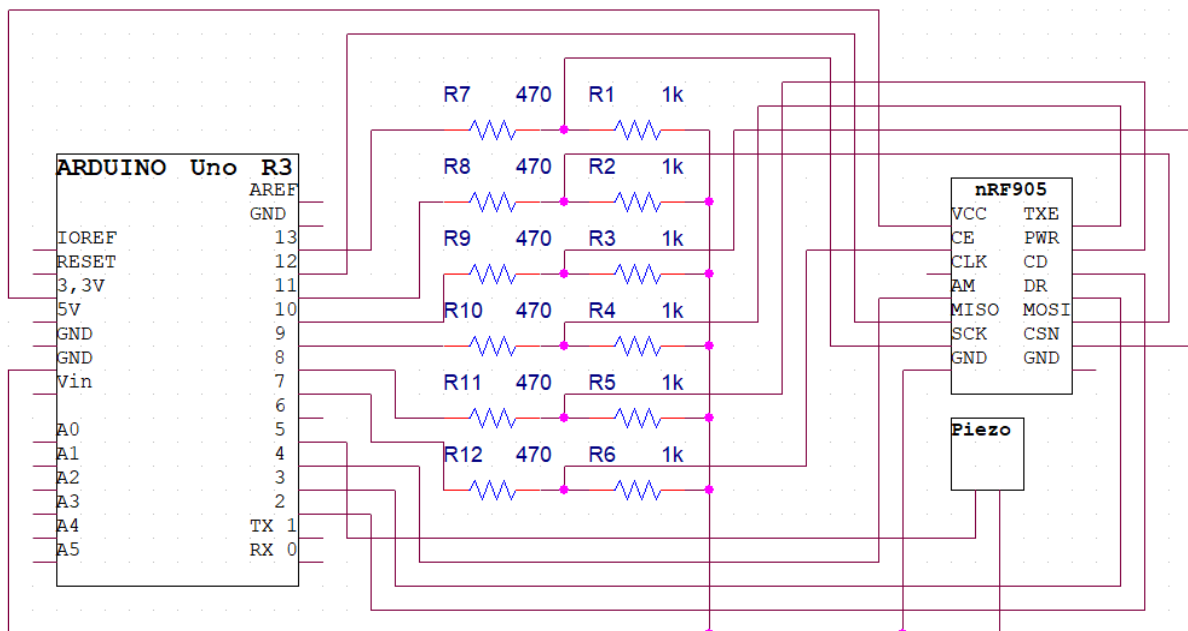
1 // Vloženie potrebných knižovien.
2 #include <SPI.h>
3 #include <RH_NRF905.h>
4 // Vytvoríme objekt rádiového modulu.
5 RH_NRF905 radio;
6 void setup()
7 {
8 // Otvoríme prenos medzi modulmi a nastavíme parametre prenosu.
9 // Pre maximálny dosah chceme nastaviť úroveň výstupného výkonu na maximálnu.
10  radio.init();
11  radio.setRF(RH_NRF905::TransmitPower10dBm);
12 // Nastavíme modul do vysielacieho módu.
13  radio.setModeTx();
14 }
15 void loop()
16 {
17 // Vytvoríme premennú ktorú chceme poslať a pošleme ju.
18  uint8_t data[] = "Test dosahu nRF905";
19  radio.send(data, sizeof(data));
20 // Počkáme dokým pošleme správu.
21  radio.waitPacketSent();
22 // Počkáme 1 sekundu a loop opakujeme znova.
23  delay(1000);
24 }

```

Obr. 55 Programová časť vysieláča nRF905.

5.2.2. Zapojenie a programovanie prijímačovej časti

Prijímačová časť bola zapojená podľa nasledovnej schémy a prenos bol uskutočnený podľa programu na obr. 57.



Obr. 56 Schéma zapojenia prijímača nRF905 s Arduinom UNO R3.

```

1 // Vloženie potrebných knižovien.
2 #include <SPI.h>
3 #include <RH_NRF905.h>
4 // Vytvoríme objekt rádiového modulu a nastavíme pin pre piezo prvok.
5 RH_NRF905 radio;
6 const int zvuk = 5;
7
8 void setup()
9 {
10 // Otvoríme prenos medzi modulmi a nastavíme parametre prenosu.
11 // Pre maximálny dosah chceme nastaviť úroveň výstupného výkonu na maximálnu.
12   radio.init();
13   radio.setRF(RH_NRF905::TransmitPower10dBm);
14 // Nastavíme modul do prijímacieho módu.
15   radio.setModeRx();
16 }
17 void loop()
18 {
19 // Ak prijímame dáta z druhého modulu tak vytvoríme premenné do ktorých dáta uložíme.
20   if (radio.available()) {
21     uint8_t buf[RH_NRF905_MAX_MESSAGE_LEN];
22     uint8_t len = sizeof(buf);
23 // Ak sú dáta správne tak piezo prvok vydá zvuk na dobu 0,5 sekundy.
24     if (radio.recv(buf, &len)) {
25       if (buf == "Test dosahu nRF905") {
26         tone (zvuk, 500);
27         delay(500);
28         noTone(zvuk);
29       }
30     }
31   }
32 }

```

Obr. 57 Programová časť prijímača nRF905.

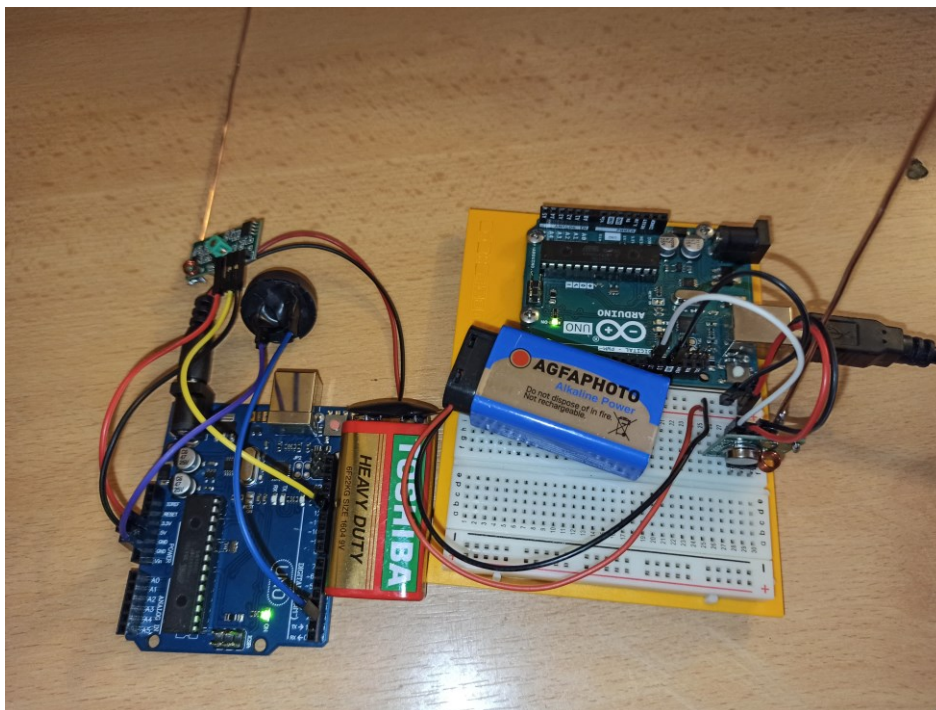
Pre vytvorenie týchto programov sme použili knižovňu Radiohead určenú pre modul nRF905.

5.2.3. Výsledky merania dosahu modulu nRF905

Meranie dosahu tohto modulu neprebehlo úspešne. Jeden z modulov sa v priebehu merania pokazil a ďalšie moduly tohto typu neboli k dostlaniu od dodávateľa. Meranie ktoré sa ale podarilo uskutočniť bolo meranie v uzavretom priestore pri ktorom modul vykazoval horší prenos ako modul nRF24L01+PA/LNA. Pri umiestnení prijímača za zopár stien už prichádzalo k rušeniu a signál bol prenesený až keď sme sa vrátili bližšie k vysielacu. Pri meraní dosahu modulu sa podarilo namerať dosah do vzdialenosti 600 m po ktorej začalo pršať a vysielací modul prestal fungovať. Katalógové hodnoty nám hovoria že maximálny dosah je okolo 1000 m čo sa nepodarilo potvrdiť. Práca s týmto modulom bola kvôli potreby zmeny logickej úrovne komplikovanejšia. Tento modul by som odporúčal iba pri práci s modulmi ktoré majú viacero pinov ako napr. Arduino MEGA keďže už zo zapojenia vyplýva že tam nemáme miesto na zapájanie komplikovanejších štruktúr.

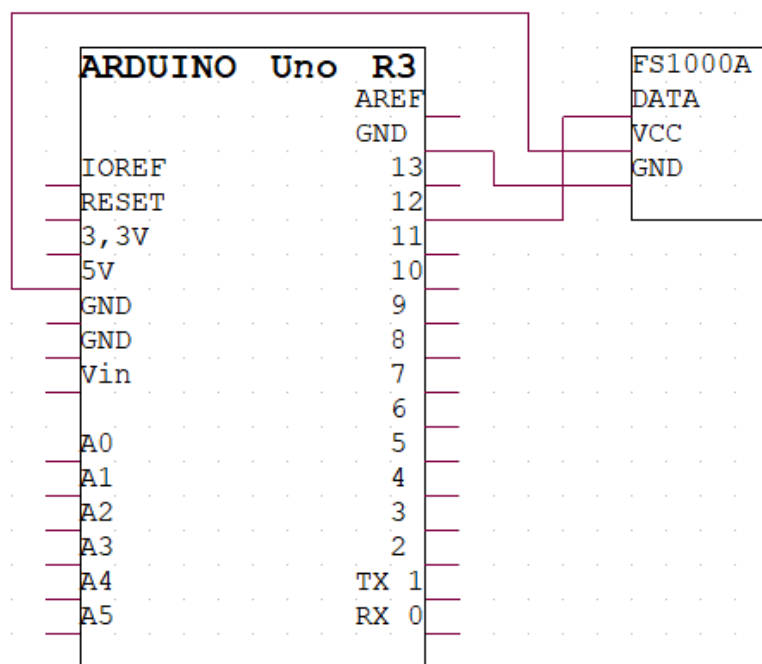
5.3. Meranie dosahu modulov FS1000A a XM-RM-5V

Zapojenie týchto modulov bolo extrémne jednoduché. Meranie bolo uskutočnené za tých istých podmienok ako predchádzajúce. Vysvetlenie programu bude uvedené v podobe komentárov v programovej časti.



Obr. 58 Reálne zapojenie modulov FS1000A a XM-RM-5V.

5.3.1. Zapojenie a programovanie vysielačovej časti



Obr. 59 Schéma zapojenia FS1000A vysielača.

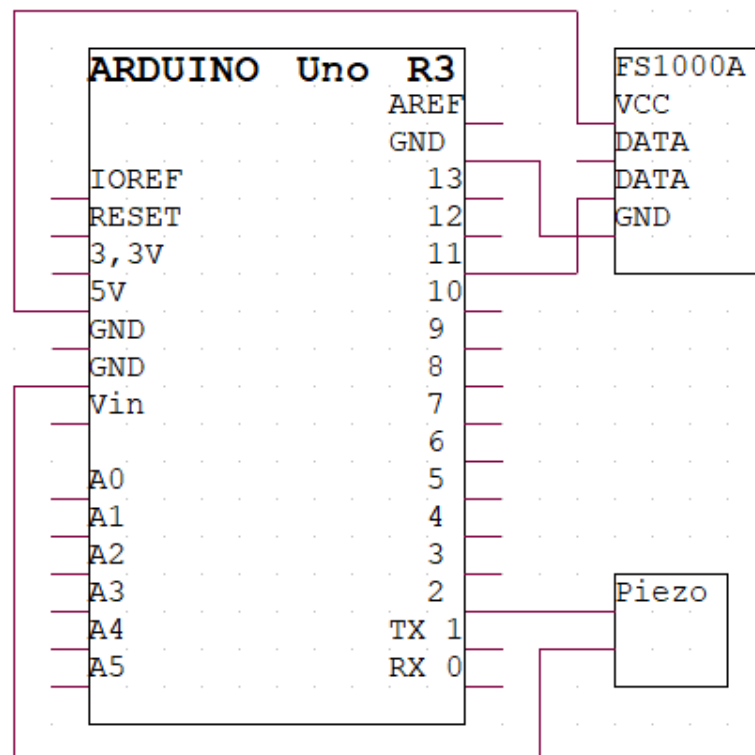
```

1 // Vložíme potrebné knihovne.
2 #include <RH_ASK.h>
3 #include <SPI.h>
4 // vytvoríme objekt vysieláča.
5 RH_ASK FS1000A;
6 void setup()
7 {
8   // Inicializujeme vysieláč.
9   FS1000A.init();
10 }
11 void loop()
12 {
13   // Vytvoríme premennú ktorú budeme posilať.
14   const char *msg = "Dosah ASK modulov";
15   // Premennú pošleme a počkáme dokým bude plne poslaná.
16   FS1000A.send((uint8_t *)msg, strlen(msg));
17   FS1000A.waitPacketSent();
18   // Počkáme 1 sekundu.
19   delay(1000);
20 }

```

Obr. 60 Programová časť vysieláča FS1000A

5.3.2. Zapojenie a programovanie prijímačovej časti



Obr. 61 Schéma zapojenia prijímača XM-RM-5V.

```

1 // Vložíme potřebné knihovny.
2 #include <RH_ASK.h>
3 #include <SPI.h>
4 // Vytvoríme objekt přijímače.
5 RH_ASK XMRM5V;
6 // Nastavíme pin piezo prvku.
7 const int zvuk = 2;
8 void setup()
9 {
10 // Inicializujeme přijímač.
11   XMRM5V.init();
12 }
13 void loop()
14 {
15 // Vytvoríme promennou do které budeme přijímat.
16   uint8_t buf[17];
17   uint8_t len = sizeof(buf);
18 // Přijímeme data a uložíme ich do promennej buf.
19 // Pozrime či sú uložené data správne a ak sú tak vytvoríme na piezo prvku zvukový signál.
20   if (XMRM5V.recv(buf, len)){
21     char *text = buf;
22     if(text == "Dosah ASK modulov" ){
23       tone (zvuk, 500);
24       delay (500);
25       noTone (zvuk);
26     }
27   }
28 }

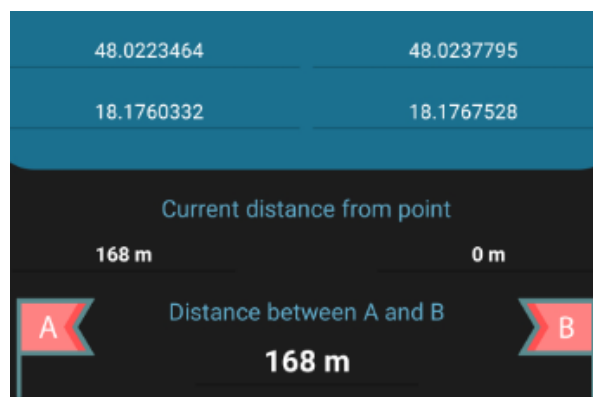
```

Obr. 62 programová část přijímače XM-RM-5V.

5.3.3. Výsledky merania dosahu modulov FS1000A a XM-RM-5V

Merania s týmito modulmi boli jednoduché ale nestabilné a nespoľahlivé pri väčších vzdialenostiach. Aby sme dosiahli väčších vzdialeností ako 1 m je potrebné na modul pripojiť anténu s ktorou sa dosah zväčší na približne 200 m. Pri tomto meraní sa 200 m nikdy nepodarilo dosiahnuť. Pri týchto moduloch je dôležité aj napájacie napätie vysielajú. V našom prípade toto napätie bolo 9 V. Maximum môže byť 12 V pri ktorom prichádza k najlepšiemu prenosu dát.

Pri meraní s anténou v otvorenom priestranstve sme najväčší možný dosah namerali ako 168 m. Už okolo 150 m prichádzalo k stálym výpadkom prenosu a neodporúčal by som takéto moduly používať pre väčšie vzdialenosti. Tieto moduly nemajú všetky systémy ktoré sú dostupné pri drahších moduloch a preto je prenos nekvalitný ale hlavnou výhodou týchto modulov je ich extrémne nízka cena a jednoduchosť práce s nimi. Prenos s týmito modelmi v uzatvorených priestoroch je veľmi nekvalitný a veľmi ľahko príde k rušeniu prenosu. K rušeniu prichádzalo aj keď sa napr. osoba postavila medzi moduly.

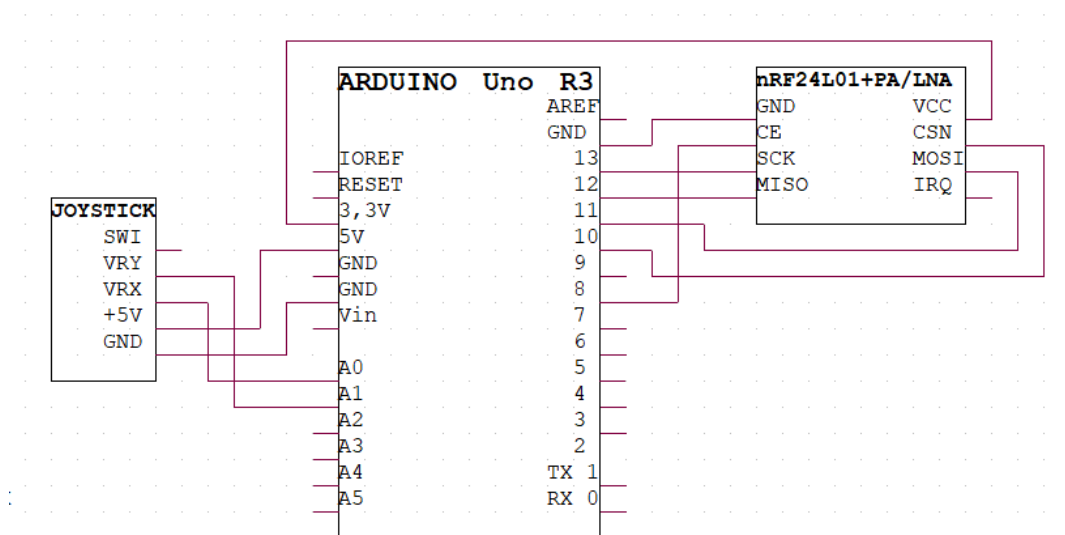


Obr. 63 Meranie v otvorenom priestranstve.

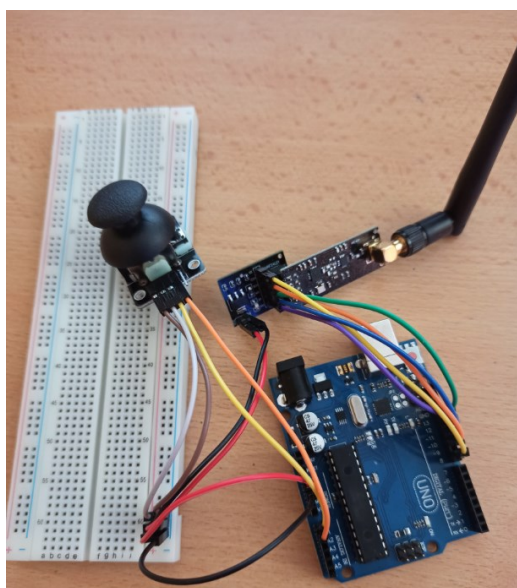
6. Použitie modulu nRF24L01+PA/LNA pre diaľkové ovládanie malej stavebnice auta

Pre vytvorenie diaľkového ovládania stavebnice použijeme modul nRF24L01+PA/LNA, analógový joystick, integrovaný obvod L293D, ultrazvukový modul HC-SR04 a dva DC motory. Ovládanie motorov stavebnice bude uskutočnené pomocou vstupov z analógového joysticku ktoré budeme čítať v Arduine a posilať do prijímaču kde ich spracujeme a pomocou L293D budeme ovládať smer a rýchlosť motorov stavebnice. Na stavebnici bude tiež umiestnený ultrazvukový senzor HC-SR04 ktorý bude merať vzdialenosť od prekážok pred stavebnicou a posilať túto vzdialenosť naspäť vysilaču v podobe ACK packetu. Na strane vysilača všetky potrebné údaje (rýchlosti motorov, smer a vzdialenosť) zobrazíme pomocou serial monitoru. Použili sme knihovňu Radiohead.

6.1. Zapojenie a programovanie vysilačovej časti



Obr. 64 Schéma zapojenia vysilaču.



Obr. 65 Reálne zapojenie vysilaču s joystickom.

```

1 // Vložíme potrebné knihovne.
2 #include <RHReliableDatagram.h>
3 #include <RH_NRF24.h>
4 #include <SPI.h>
5 // Definujeme piny pre vstup joysticku a nastavíme im počiatočnú hodnotu.
6 #define joyHorz    A0
7 #define joyVert    A1
8 int joyposY = 512;
9 int joyposX = 512;
10 // Definujeme adresy pre vysieláč a prijímač. Vytvoríme objekt vysieláča a nastavíme mu adresu.
11 #define CLIENT_ADDRESS 1
12 #define SERVER_ADDRESS 2
13 RH_NRF24 Vysielac;
14 RHReliableDatagram VysielacManager(Vysielac, CLIENT_ADDRESS);
15 // vytvoríme premennú ovladanieMotoru ktorá bude pole s 3 hodnotami, dve pre rýchlosti jedna pre smer.
16 uint8_t ovladanieMotoru[3];
17 // Definujeme buf pre posielanie dát.
18 uint8_t buf[RH_NRF24_MAX_MESSAGE_LEN];
19 void setup() {
20 // Začneme seriovú komunikáciu a inicializujeme modul. Tiež nastavíme hodnotu pre pole 2
21   Serial.begin(9600);
22   if (!VysielacManager.init()) Serial.println("Inicializácia sa nepodarila");
23   ovladanieMotoru[2] = 0;
24 void loop() {
25 // Napíšeme do serial monitoru a budeme čítať hodnoty pre joystick ktoré uložíme do premenných.
26   Serial.println("Čítanie hodnôt ovladanieMotoru");
27   joyposY = analogRead(joyVert);
28   joyposX = analogRead(joyHorz);
29 // Určíme smer pohybu autička. Budeme najprv určovať pohyb dopredu alebo dozadu.
30   if (joyposY < 472) {
31 // JoyposY < 472 znamená že chceme ísť dozadu tak nastavíme časť premennej ktorá určuje smer na 1.
32     ovladanieMotoru[2] = 1;
33 // Nastavíme rýchlosti motorov a uložíme ich do premennej. Keďže ide o pohyb vzad hodnoty reverzujeme.
34 // Funkcia map() nám zmení rozsah premennej tým že ho bud roztiahne alebo zmenší.
35     ovladanieMotoru[0] = map(joyposY, 472, 0, 0, 255);
36     ovladanieMotoru[1] = map(joyposY, 472, 0, 0, 255);
37   } else if (joyposY > 552) {
38 // JoyposY > 552 znamená že chceme ísť dopredu tak nastavíme časť premennej ktorá určuje smer na 0.
39     ovladanieMotoru[2] = 0;
40 // Nastavíme rýchlosti motorov. Použijeme funkciu map().
41     ovladanieMotoru[0] = map(joyposY, 552, 1023, 0, 255);
42     ovladanieMotoru[1] = map(joyposY, 552, 1023, 0, 255);
43   } else {
44 // V rozsahu pozície 472-552 ide o Deadzone a motory tu budú zastavené. Pozícia joysticku v strede.
45     ovladanieMotoru[0] = 0;
46     ovladanieMotoru[1] = 0;
47     ovladanieMotoru[2] = 0;
48   }
49 }

```

Obr. 66 Prvá časť programu vysieláča.


```

48 // Zatáčanie bude uskutočnené podobne.
49 if (joyposX < 472){
50 // JoyposX < 472 znamená že chcem ísť doľava.
51 // Hodnotu upravíme a vložíme do premennej a keďže ideme do ľava tak hodnoty reverzujeme.
52 joyposX = map(joyposX, 472, 0, 0, 255);
53 ovladanieMotoru[0] = ovladanieMotoru[0] - joyposX;
54 ovladanieMotoru[1] = ovladanieMotoru[1] + joyposX;
55 // Nechceme prekročiť hranice 0 a 255.
56 if (ovladanieMotoru[0] < 0)ovladanieMotoru[0] = 0;
57 if (ovladanieMotoru[1] > 255)ovladanieMotoru[1] = 255;}
58 else if (joyposX > 552){
59 // JoyposX > 552 znamená že chcem ísť doprava. Hodnotu upravíme a vložíme do premennej.
60 ovladanieMotoru[0] = ovladanieMotoru[0] + joyposX;
61 ovladanieMotoru[1] = ovladanieMotoru[1] - joyposX;
62 // Nechceme prekročiť hranice 0 a 255.
63 if (ovladanieMotoru[0] > 255)ovladanieMotoru[0] = 255;
64 if (ovladanieMotoru[1] < 0)ovladanieMotoru[1] = 0; }
65 // Nastavíme aby sme predišli bzučaniu na malých rýchlostiach
66 if (ovladanieMotoru[0] < 8)ovladanieMotoru[0] = 0;
67 if (ovladanieMotoru[1] < 8)ovladanieMotoru[1] = 0;
68 // Vypíšeme hodnoty motora do serial monitoru.
69 Serial.println("Motor 1: ");
70 Serial.print(ovladanieMotoru[0]);
71 Serial.print(" - Motor 2: ");
72 Serial.print(ovladanieMotoru[1]);
73 Serial.print(" - Smer: ");
74 Serial.print(ovladanieMotoru[2]);
75 // Pošleme správu obsahujúcu dáta ovladanieMotoru serveru. Ďalej čakame na potvrdenie.
76 if (VysielacManager.sendtoWait(ovladanieMotoru, sizeof(ovladanieMotoru), SERVER_ADDRESS)){
77 // Now wait for a reply from the server
78 uint8_t len = sizeof(buf);
79 uint8_t from;
80 // Ak dostaneme potvrdenie tak vypíšeme vzdialenosť nameranú pred autičkom.
81 if (VysielacManager.recvfromAckTimeout(buf, &len, 2000, &from)){
82 if(buf >= 400 || buf <= 2){
83 Serial.print("- vzdialenosť: ");
84 Serial.print ("Mimo dosah");
85 }else{
86 Serial.print("- vzdialenosť: ");
87 Serial.print((char*)buf);
88 Serial.print(" cm");}
89 }else{
90 Serial.println("Žiadna odpoveď");}
91 }else{
92 Serial.println("Poslanie neprebehlo úspešne");}
93 Serial.println (" ");}
94 delay(100);}// Počkame 0,1 sekundy pred ďalším poslaním.

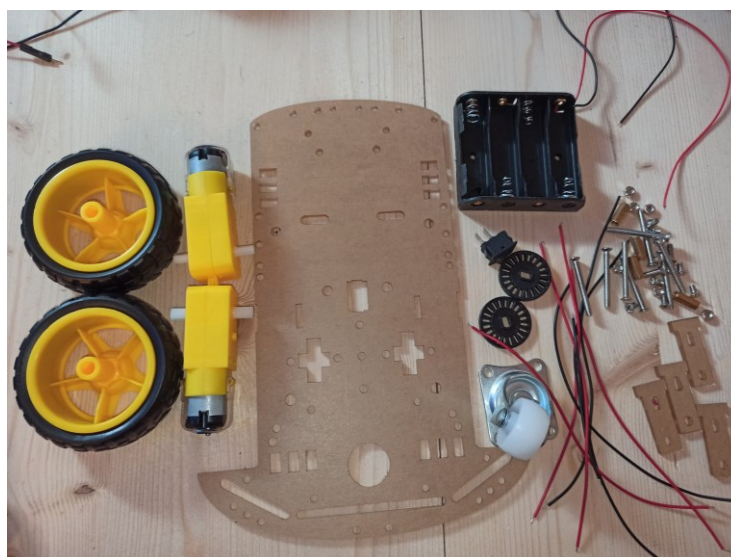
```

Obr. 67 Druhá časť programu vysielača.

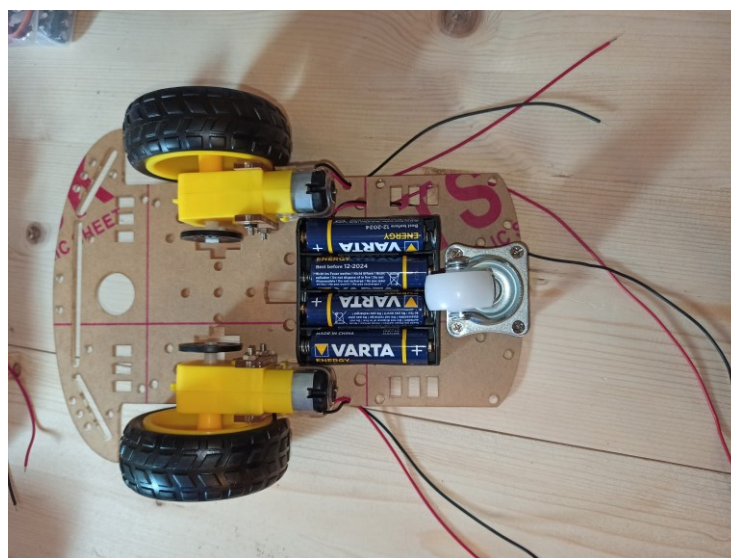
6.2. Zapojenie a programovanie prijímačovej časti

V tomto zapojení potrebujeme IC L293D ktorým budeme stavebnicu ovládať. Piny E1,2 a E3,4 pripojíme na PWM piny arduina a budeme nimi ovládať rýchlosť motorov. Piny IN 1 a 2 ovládajú smer točenia motoru 1 a IN3, 4 ovládajú smer točenia motoru 2. Na piny OUT 1,2 a OUT 3,4 pripojíme motory. Pin Vs je napájacie napätie motorov zatiaľ čo pin Vss je pin napájania logiky obvodu.

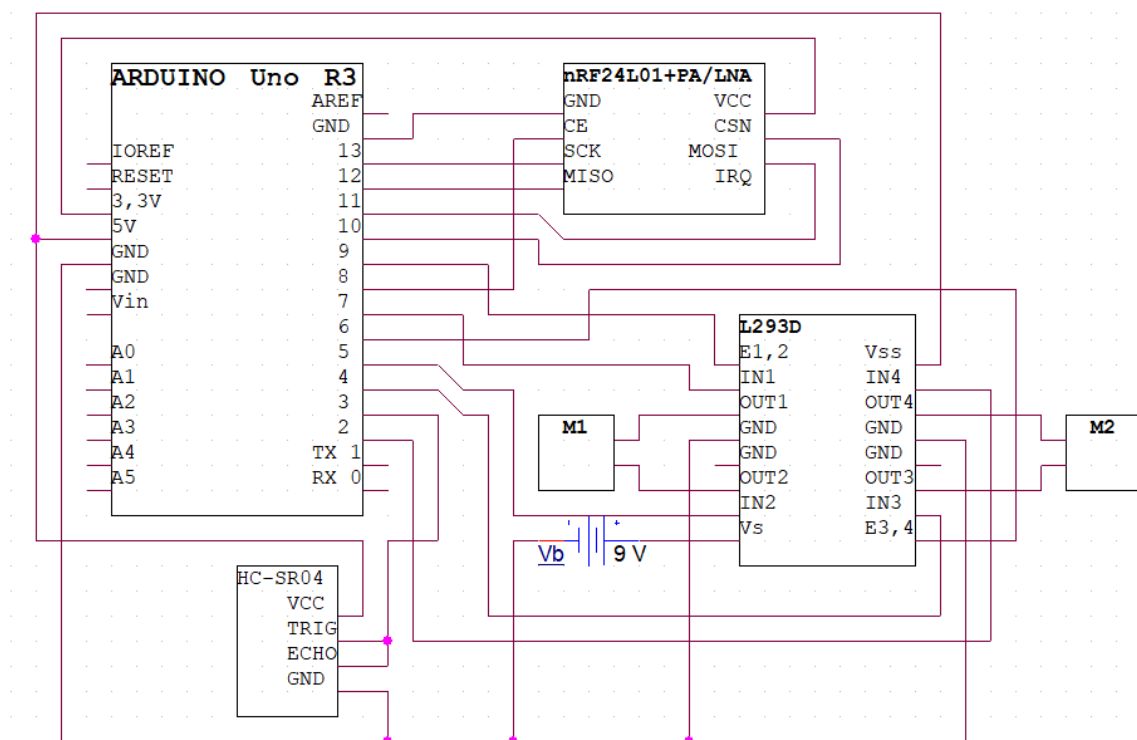
Ultrazvukový senzor HC-SR04 budeme programovať pomocou knihovne NewPing. Keďže tento modul nikdy nepoužíva piny ECHO a TRIG naraz je možné ich prepojiť a napojiť ich na jeden digitálny pin Arduina. Modul funguje celkom jednoducho. Ak pošleme na pin TRIG signál HIGH tak modul vydá ultrazvukový signál ktorý sa odrazí od objektov pred senzorom a vráti naspäť do modulu. Ak sa signál vráti do modulu tak pin ECHO bude vynesení na HIGH a pomocou rýchlosti zvuku a časom medzi vyslaním signálu a obdržaním ho po odraze dokážeme vypočítať vzdialenosť medzi týmito objektami. Tieto výpočty by sa dalo počítať aj manuálne pomocou čítania pinov ale knihovňa NewPing nám to zjednodušuje a výpočty urobí za nás. Tieto moduly dokážu merať vzdialenosť od 0,02 m do 4 m. Presnosť by sa dala zlepšiť výpočtom lokálnej rýchlosti zvuku.



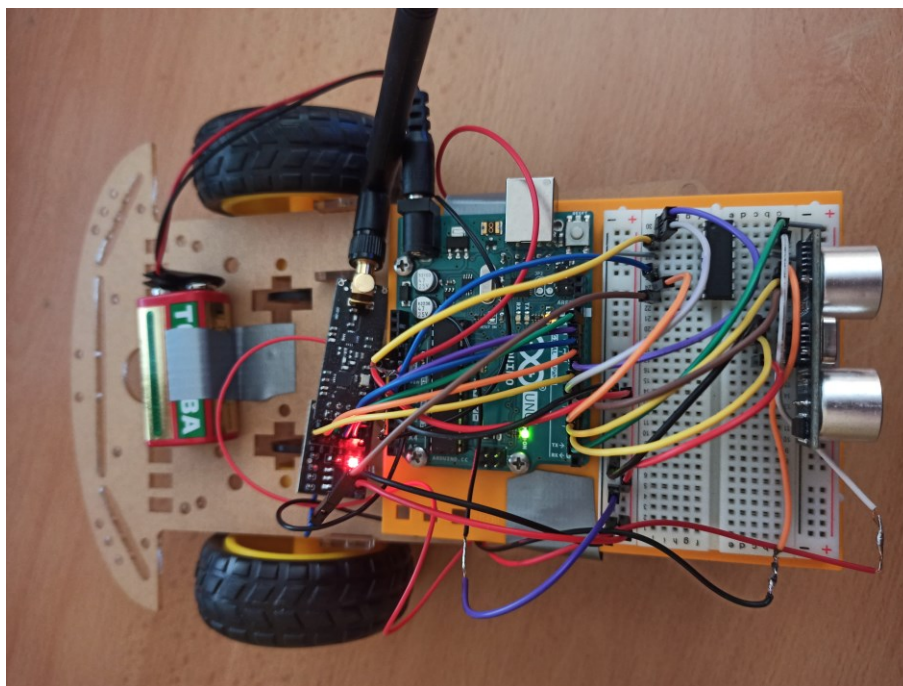
Obr. 68 Konštrukcia tela stavebnice.



Obr. 69 Hotová konštrukcia stavebnice.



Obr. 70 Schéma zapojenia prijímača stavebnice.



Obr. 71 Reálne zapojenie prijímača na tele stavebnice.

```

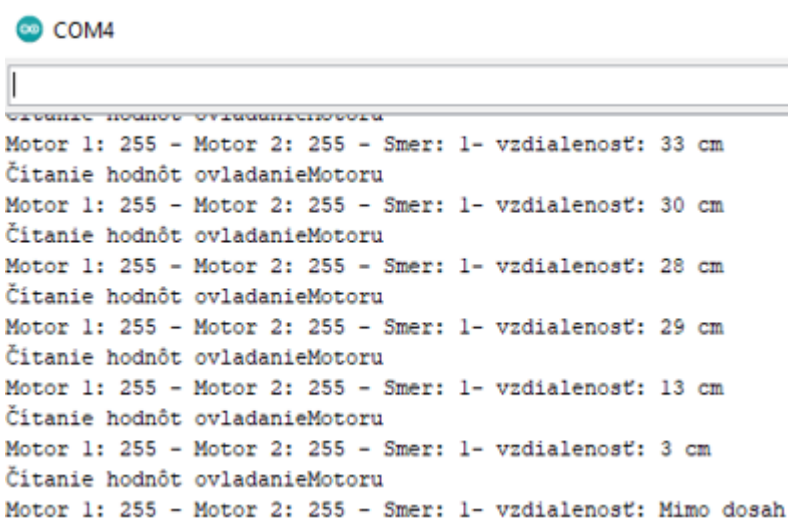
1 // Vložíme potřebné knihovny.
2 #include <RHReliableDatagram.h>
3 #include <RH_NRF24.h>
4 #include <SPI.h>
5 #include <NewPing.h>
6 // Definujeme adresy pro vysílač a přijímač. Vytvoríme objekt vysílače a nastavíme mu adresu.
7 // Definujeme piny a konstanty ultrazvukového senzoru.
8 #define CLIENT_ADDRESS 1
9 #define SERVER_ADDRESS 2
10 #define ECHOTRIGG_PIN 3
11 #define MAX_DISTANCE 400
12 // Připojení Motoru 1,2 a ultrazvukového senzoru HC-SR04.
13 int enA = 9;
14 int enB = 6;
15 int in1 = 7;
16 int in2 = 5;
17 int in3 = 4;
18 int in4 = 2;
19 // Vytvoríme objekt přijímače a nastavíme mu adresu.
20 RH_NRF24 Prijimac;
21 RHReliableDatagram PrijimacManager(Prijimac, SERVER_ADDRESS);
22 // Definujeme objekt ultrazvukového snímače.
23 // Definujeme správu pro přijetí dat a buf pro posílání dat.
24 NewPing Senzor(ECHOTRIGG_PIN, ECHOTRIGG_PIN, MAX_DISTANCE);
25 uint8_t buf[RH_NRF24_MAX_MESSAGE_LEN];
26 uint8_t Cas, Vzdialenost;
27 void setup(){
28 // Inicializujeme modul a nastavíme piny motoru jako výstupné.
29   PrijimacManager.init();
30   pinMode(enA, OUTPUT);
31   pinMode(enB, OUTPUT);
32   pinMode(in1, OUTPUT);
33   pinMode(in2, OUTPUT);
34   pinMode(in3, OUTPUT);
35   pinMode(in4, OUTPUT);}
36 void loop(){
37 //Uložíme nameranou vzdialenost do premennej.
38   Vzdialenost = Senzor.ping_cm();
39   if (PrijimacManager.available()){
40 // Vytvoríme premenné a čakáme na prijatie správy.
41     uint8_t len = sizeof(buf);
42     uint8_t from;
43     if (PrijimacManager.recvfromAck(buf, &len, &from)){
44       if (buf[2] == 1){
45 // Motory sú nastavené dozadu.
46         digitalWrite(in1, LOW);
47         digitalWrite(in2, HIGH);
48         digitalWrite(in3, LOW);
49         digitalWrite(in4, HIGH);
50       }else
51       {
52 // Motory sú nastavené dopredu.
53         digitalWrite(in1, HIGH);
54         digitalWrite(in2, LOW);
55         digitalWrite(in3, HIGH);
56         digitalWrite(in4, LOW);
57 // Nastavíme rýchlosť motorov.
58         analogWrite(enA, buf[1]);
59         analogWrite(enB, buf[0]);
60 // Pošleme naspäť odpoveď obsahujúcu nameranú vzdialenost
61         PrijimacManager.sendtoWait(Vzdialenost, sizeof(Vzdialenost), from);
62       }
63 }

```

Obr. 72 Programová časť prijímača.

6.3. Výsledky diaľkového ovládania

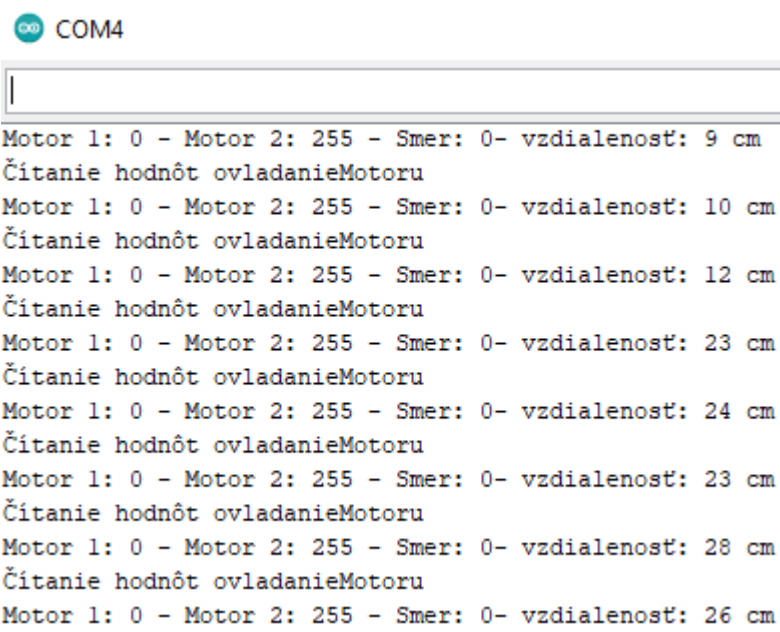
Uskutočnenie ovládania prebehlo úspešne a výsledky merania doložím v podobe výstupu z serial monitoru vysielča ktorý nám monitoroval všetky potrebné údaje. Bude tam uvedených viacero situácií ovládania a ako sa pri nich stavebnica správala. Motory stavebnice boli vyskúšané pri napájaní z 6 V a 9 V. Pri napájaní s 9 V stavebnica rýchlejšie odpovedala a dokázala vyvinúť väčší výkon. Prenos medzi modulmi prebiehal v otvorenom priestranstve bez problémov aj pri tom že boli nastavené základné nastavenia (rýchlosť prenosu 2 Mb/s, výstupný výkon 0dBm). Ale pri navedení stavebnice za viacero fyzických prekážok prišlo k chvíľkovým prerušeniam signálu a stavebnica sa nedala spoľahlivo ovládať. Celkovo by som odporúčal použitie tohto modulu pre podobné použitia, pre ovládanie rôznych modelov RC lietadiel, áut alebo čohokoľvek podobného. Modul nRF24L01+PA/LNA nám poskytuje veľmi vysokú úroveň upravenia prenosu pre naše potreby a systém Arduino toho dokáže plne využiť.



COM4

```
Čítanie hodnôt ovládanieMotoru  
Motor 1: 255 - Motor 2: 255 - Smer: 1- vzdialenosť: 33 cm  
Čítanie hodnôt ovládanieMotoru  
Motor 1: 255 - Motor 2: 255 - Smer: 1- vzdialenosť: 30 cm  
Čítanie hodnôt ovládanieMotoru  
Motor 1: 255 - Motor 2: 255 - Smer: 1- vzdialenosť: 28 cm  
Čítanie hodnôt ovládanieMotoru  
Motor 1: 255 - Motor 2: 255 - Smer: 1- vzdialenosť: 29 cm  
Čítanie hodnôt ovládanieMotoru  
Motor 1: 255 - Motor 2: 255 - Smer: 1- vzdialenosť: 13 cm  
Čítanie hodnôt ovládanieMotoru  
Motor 1: 255 - Motor 2: 255 - Smer: 1- vzdialenosť: 3 cm  
Čítanie hodnôt ovládanieMotoru  
Motor 1: 255 - Motor 2: 255 - Smer: 1- vzdialenosť: Mimo dosah
```

Obr. 73 Výstup serial monitoru pri nabúraní do prekážky.



COM4

```
Motor 1: 0 - Motor 2: 255 - Smer: 0- vzdialenosť: 9 cm  
Čítanie hodnôt ovládanieMotoru  
Motor 1: 0 - Motor 2: 255 - Smer: 0- vzdialenosť: 10 cm  
Čítanie hodnôt ovládanieMotoru  
Motor 1: 0 - Motor 2: 255 - Smer: 0- vzdialenosť: 12 cm  
Čítanie hodnôt ovládanieMotoru  
Motor 1: 0 - Motor 2: 255 - Smer: 0- vzdialenosť: 23 cm  
Čítanie hodnôt ovládanieMotoru  
Motor 1: 0 - Motor 2: 255 - Smer: 0- vzdialenosť: 24 cm  
Čítanie hodnôt ovládanieMotoru  
Motor 1: 0 - Motor 2: 255 - Smer: 0- vzdialenosť: 23 cm  
Čítanie hodnôt ovládanieMotoru  
Motor 1: 0 - Motor 2: 255 - Smer: 0- vzdialenosť: 28 cm  
Čítanie hodnôt ovládanieMotoru  
Motor 1: 0 - Motor 2: 255 - Smer: 0- vzdialenosť: 26 cm
```

Obr. 74 Výstup serial monitoru pri otáčaní doľava.


```

Čítanie hodnôt ovládanieMotoru
Motor 1: 253 - Motor 2: 251 - Smer: 0- vzdialenosť: 91 cm
Čítanie hodnôt ovládanieMotoru
Motor 1: 255 - Motor 2: 253 - Smer: 0- vzdialenosť: 93 cm
Čítanie hodnôt ovládanieMotoru
Motor 1: 255 - Motor 2: 253 - Smer: 0- vzdialenosť: 65 cm
Čítanie hodnôt ovládanieMotoru
Motor 1: 253 - Motor 2: 255 - Smer: 0- vzdialenosť: 63 cm
Čítanie hodnôt ovládanieMotoru
Motor 1: 254 - Motor 2: 0 - Smer: 0- vzdialenosť: 59 cm
Čítanie hodnôt ovládanieMotoru
Motor 1: 253 - Motor 2: 255 - Smer: 0- vzdialenosť: 58 cm
Čítanie hodnôt ovládanieMotoru
Motor 1: 254 - Motor 2: 0 - Smer: 0- vzdialenosť: 57 cm
Čítanie hodnôt ovládanieMotoru
Motor 1: 255 - Motor 2: 0 - Smer: 0- vzdialenosť: 59 cm
Čítanie hodnôt ovládanieMotoru
Motor 1: 131 - Motor 2: 133 - Smer: 1- vzdialenosť: 48 cm
Čítanie hodnôt ovládanieMotoru
Motor 1: 254 - Motor 2: 0 - Smer: 1- vzdialenosť: 43 cm
Čítanie hodnôt ovládanieMotoru
Motor 1: 254 - Motor 2: 0 - Smer: 1- vzdialenosť: 63 cm
Čítanie hodnôt ovládanieMotoru
Motor 1: 254 - Motor 2: 0 - Smer: 1- vzdialenosť: 67 cm
Čítanie hodnôt ovládanieMotoru
Motor 1: 254 - Motor 2: 0 - Smer: 1- vzdialenosť: 99 cm
Čítanie hodnôt ovládanieMotoru
Motor 1: 255 - Motor 2: 255 - Smer: 1- vzdialenosť: 99 cm
Čítanie hodnôt ovládanieMotoru
Motor 1: 255 - Motor 2: 253 - Smer: 1- vzdialenosť: 95 cm
Čítanie hodnôt ovládanieMotoru
Motor 1: 0 - Motor 2: 254 - Smer: 1- vzdialenosť: 93 cm
Čítanie hodnôt ovládanieMotoru
Motor 1: 0 - Motor 2: 254 - Smer: 1- vzdialenosť: 92 cm

```

Obr. 75 Výstup serial monitoru pri točení analógovým joystickom do kruhu.

7. Záver

Cieľom tejto bakalárskej práce bolo bližšie sa vyjadriť k rádiovému prenosu a k možnostiam uskutočnenia takéhoto prenosu pomocou systému Arduino. Pri vyberaní modulov použitých v práci bol dôraz kladený na cenu a jednoduchosť použitia nie na maximálny dosah alebo výkon. Porovnanie modulov nám ukázalo možnosti ktoré všetky tri moduly poskytujú a v ktorých oblastiach by ich bolo najlepšie používať.

Modul nRF905 sa sice podaril sfunkčniť ale meranie sa nepodarilo kompletne dokončiť a práca s týmto modulom bola zložitejšia a limitujúca aj keď vlastnosti a cenu mal veľmi podobnú ako modul nRF24L01+PA/LNA.

Modul nRF24L01+PA/LNA bol jednoduchý na použitie a dovoľoval najväčšiu možnosť rôznych nastavení ako je rýchlosť prenosu a výstupný výkon. S týmto modulom sa pracovalo veľmi dobre a jeho prenosové vlastnosti boli veľmi spoľahlivé. Z týchto dôvodov bolo diaľkové ovládanie stavebnice usutočnené pomocou tohto modulu. Meranie dosahu modulu prebehlo veľmi úspešne a dokonca sa podarilo namerať dosah na vzdialenosť o okolo 150 m viac ako bolo v katalógu uvedené. Modul mal veľmi dobre vlastnosti aj počas nežiadúcich podmienok ako v uzavretých priestoroch alebo počas dažďu.

Moduly FS1000A a XM-RM-5V sú najlacnejšie a tiež najľahšie na použitie. Tieto moduly sú perfektné pre jednoduché použitia ako napríklad diaľkové ovládanie alebo senzorické systémy. Tým že sú jednoduché prichádza ale k istým nevýhodám ako je krátky dosah, nestabilný prenos, veľké rušenie fyzickými prekážkami a neschopnosť vybrať z viacero kanálov v pásme.

Možnosť spojenia prenosu týchto modulov so systémom Arduino nám dovoľuje použitie v širokom rozsahu či už rádioamatérskeho pôvodu alebo profesionálneho. Cena a dostupnosť takýchto modulov ešte viac zvyšuje ich použiteľnosť a tým že moduly pracujú v legálnych pásmach ISM je dovolený prístup k diaľkovému prenosu vážne každému kto by ho potreboval pre akékoľvek použitie. Arduino je tiež perfektný systém aj pre nadšencov ktorí nie sú vyučenými programátormi, keďže dovoľuje jednoducho a efektívne vykonať komplexné funkcie pomocou veľkého množstva voľne dostupného materiálu a kníhovieň pre programovanie.

Zoznam použitej literatúry

[1] MALINA, Václav. *Poznáваме elektroniku V: Vysokofrekvenční technika*. Dotisk 1.vyd. České Budějovice: Kopp, 2001. ISBN 80-7232-114-5.

[2] PINKER, Jiří. *Mikroprocesory a mikropočítače: obecné principy konstrukce současných mikroprocesorů a mikropočítačů*. Praha: BEN - technická literatura, Věšínova 5, Praha 10, 2004. ISBN 978-80-7300-110-0.

[3] VODA, Zbyšek. *Průvodce světem Arduina*. Vydání druhé. Bučovice: Martin Stříž, 2017. ISBN 978-80-87106-93-8.

[4] PETROVIČ, Pavol. *Fyzika III: Vybrané kapitoly zo základov elektronických prvkov, obvodov a systémov*. 2. dopl. Vyd. Košice: EQUILIBRIA, 2015. ISBN 978-80-8143-153-1.

[5] LINDA, Tomáš. *Elektromagnetické záření: Pozitivní a negativní působení na zdraví, možnost ochrany*. Praha, 2005. Diplomová práce. Karlova Univerzita.

[6] DVOŘÁČEK, Petr. *Rádiové spojení v PO*. Frýdek- Místek, 2002. Dostupné z: <https://www.fbi.vsb.cz/export/sites/fbi/030/.content/galerie-souboru/studijni-materialy/radiove-spojeni.pdf>

[7] SLOVENSKO. Všeobecné povolenie č. VPR – 02/2020. In: 351/2011. Bratislava, 2020, ročník 2011, 111/2011, č.14. Dostupné z: <https://www.teleoff.gov.sk/vseobecne-povolenia/>

[8] OVSENÍK, Ľuboš. *Šírenie elektromagnetických vln*. Košice, 2015. Dostupné z: http://martin.hasin.alf.intrak.tuke.sk/EVA/EVA/Pr.2/Pr02_SkR15.pdf

[9] *Základné vedomosti zo šírenia elektromagnetických vln*. Košice, TUKE- technická univerzita v Košiciach. Dostupné z: https://data.kemt.fei.tuke.sk/PM_PS_Prenosove_media/Prednasky/Pr08/Doplnkova%20literatura/Z%E1kladn%E9%20vedomosti%20zo%20%9A%EDrenia%20elektromagnetick%FDch%20v%E5n.pdf

[10] *Televízní vysílací a přijímací antény*. Dostupné tiež z: https://lms.vsb.cz/pluginfile.php/1288827/mod_resource/content/1/Ant%C3%A9ny%20I.pdf

[11] *NRF24L01+ Single Chip 2.4GHz Transceiver Product Specification v1.0*. TrondHeim, Norway, 2008. Dostupné z: https://www.nordicsemi.com/-/media/DocLib/Other/Product_Spec/nRF24LU1PPSv11.pdf

[12] *Single chip 433/868/915 MHz Transceiver nRF905 Product Specification*. Tiller, Norway, 2004. Dostupné z: https://www.sparkfun.com/datasheets/IC/nRF905_rev1_1.pdf

[13] *FS1000A 433MHZ RF Transmitter & XY-MK-5V Receiver Module Explanation, Pinout* [online]. 2020 [cit. 2021-4-26]. Dostupné z: <https://www.componentsinfo.com/fs1000a-433mhz-rf-transmitter-xy-mk-5v-receiver-module-explanation-pinout/>

[14] *How nRF24L01+ Wireless Module Works & Interface with Arduino* [online]. <https://lastminuteengineers.com/>: Last Minute engineers [cit. 2021-4-26]. Dostupné z: <https://lastminuteengineers.com/nrf24l01-arduino-wireless-communication/>

[15] *NRF905 AVR/Arduino Library/Driver* [online]. <https://taillieu.info/> [cit. 2021-4-26]. Dostupné z: <https://taillieu.info/index.php/hardware/124-nrf905-avr-arduino-library-driver>

[16] *How 433MHz RF Tx-Rx Modules Work & Interface with Arduino* [online]. <https://lastminuteengineers.com/>: Last Minute engineers [cit. 2021-4-26]. Dostupné z: <https://lastminuteengineers.com/433mhz-rf-wireless-arduino-tutorial/>

[17] *433 Mhz RF Transmitter With Receiver Kit For Arduino ARM MCU Wireless*. Dostupné také z: http://www.mantech.co.za/Datasheets/Products/433Mhz_RF-TX&RX.pdf

[18] *433MHz Wireless Modules MX-FS-03V & MX-05 (HCMODU0007)* [online]. <https://forum.hobbycomponents.com/>, 2013 [cit. 2021-4-26]. Dostupné z: <https://forum.hobbycomponents.com/viewtopic.php?t=1324>

[19] *Bezdrôtová komunikácia v pásme 433 MHz*. [online]. <https://senzor.robotika.sk/>, 2014 [cit. 2021-4-26]. Dostupné z: https://senzor.robotika.sk/sensorwiki/index.php/Bezdr%C3%B4tov%C3%A1_komunik%C3%A1cia_v_p%C3%A1sme_433_MHz